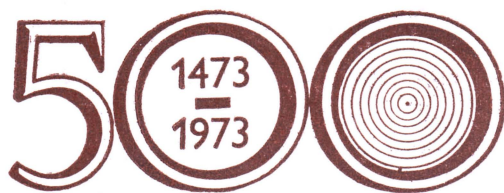




*Non docet instabiles Cōpernicus ætheris orbes,
Sed terræ instabiles arguit ille vices*

1 1973 ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

· АСТРОНОМИЯ · ГЕОФИЗИКА ·
· ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ·



Миллиарды оборотов совершила Земля в своем движении вокруг Солнца, но всего пятьсот ее витков отделяют нас от дня рождения человека, которому предстояло открыть это движение, ныне известное каждому школьнику. Таким человеком был великий польский астроном Николай Коперник (1473—1543).

Труды Коперника ознаменовали новую эпоху в истории естествознания. Коперниковская революция имела огромное научное, философское и атеистическое значение. «Революционным актом, которым исследование природы заявило о своей независимости и как бы повторило лютеровское сожжение папской буллы, было издание бессмертного творения, в котором Коперник бросил — хотя и робко и, так сказать, лишь на смертном одре — вызов церковному авторитету в вопросах природы. Отсюда начинается свое летоисчисление освобождение естествознания от теологии» (Ф. Энгельс).

Путь к торжеству идей Коперника шел через многие годы борьбы науки против религии. Ярчайшие вехи на этом пути связаны с именами Бруно, Галилея, Кеплера, Ньютона, Ломоносова, Эйнштейна. Почти двадцать лет назад Альберт Эйнштейн писал: «Сегодня нелегко постигнуть, какая независимость мысли, редкая интуиция и мастерское владение астрономическими фактами были нужны для доказательства превосходства гелиоцентрических воззрений. Это великое достижение Коперника не только проложило дорогу современной астрономии; оно способствовало решительному изменению отношения людей к космосу. Раз было признано, что Земля является не центром мира, а лишь одной из самых малых планет, то и иллюзорное представление о центральной роли самого человека стало несостоятельным. Таким образом, своими трудами и величием своей личности Коперник призывал людей быть скромными».

1973-й год — это «год Коперника»: благодарное человечество нашей планеты отмечает 500-летие со дня рождения Николая Коперника. «Земля и Вселенная» в ряде номеров будет публиковать материалы, знакомящие читателей с жизнью, деятельностью и научными трудами великого реформатора астрономии.



Научно-популярный
журнал
Академии наук СССР
Основан в 1965 году
Выходит 6 раз в год
Издательство «Наука»
Москва

1 ЯНВАРЬ ФЕВРАЛЬ 1973

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

В НОМЕРЕ:

В. Л. Гинзбург — Гамма-астрономия и космические лучи	2
А. М. Гальпер, В. Г. Кириллов - Угрюмов, Б. И. Лучков — Дискретные источники гамма-квантов	6
Е. И. Гальперин — Вертикальное сейсмическое профилирование	12
В. А. Бугаев — Современная Служба погоды	21
К. П. Васильев — Что такое ОГСОС!	26
О. Л. Вайсберг — «Марс-3» исследует плазму	28
В. Л. Масайтис — В метеоритный кратер — за алмазами	32
Д. Ю. Гольдовский — Некоторые научные итоги полета «Аполло- на-16»	37
Н. Я. Кондратьев — Звезды указывают путь самолетам	41

К 500-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ НИКОЛАЯ КОПЕРНИКА

И. Н. Веселовский — От древних представлений — к гелиоцентри- ческой системе мира Коперника	47
А. А. Гурштейн — Великий Коперник	53
Э. Рыбка — Астрономия в Краковском университете XV столетия	58
Г. В. Черемушкин — Польская земля — земля Коперника	63

ЭКСПЕДИЦИИ

Б. А. Петрушевский — Югославский карст	66
--	----

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

Ф. Ю. Зигель — Из истории московских астрономических кружков	73
--	----

ЛЮБИТЕЛЬСКОЕ ТЕЛЕСКОПОСТРОЕНИЕ

В. М. Шувалов — Механизм управления телескопом	
--	--

ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ ЧИТАТЕЛЕЙ	40, 62, 78
---------------------------------------	------------

НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ

«Луноход-2» на Луне! [11]; Землетрясения и водохранилища [20]; Ядерные реакции на поверхности Солнца [20]; Механизм повторных толчков [20]; Как вращается верхняя атмосфера! [27]; О том, как Джек Лондон изучал навигацию [44]; Извержение вулкана Алаид [65]; «Теплый» Сатурн [79].



На обложке: 1-я стр.— Николай Коперник (1473—1543). Текст под гравюрой:

Не утверждает Коперник подвижности сферы небесной.
Вместо того, учит он, движется шар наш земной.

4-я стр.— Страница из рукописи Николая Коперника «О вращении небесных сфер».



Академик
В. Л. ГИНЗБУРГ

Гамма-астрономия и космические лучи

Сейчас уже, конечно, нельзя установить, кто и когда провел первые астрономические наблюдения, но совершенно ясно, что единственным инструментом первого наблюдателя были его глаза. Многие перемены с тех пор. В наши дни в распоряжении астрономов гигантские оптические и радиотелескопы, специализированные спутники и орбитальные солнечные обсерватории, подземные детекторы нейтрино и приемники гравитационного излучения. Достижения космонавтики позволили начать непосредственные исследования Луны и ближайших планет. Но как и раньше, астрономы лишены возможности «пощупать» далекие небесные тела, они могут только созерцать их и анализировать исходящее от них излучение. Вот почему так важно любое расширение диапазона частот электромагнитных волн, принимаемых из Космоса, или регистрация излучения совершенно иной природы, например, гравитационного или нейтринного.

В последнее десятилетие самые интересные открытия сделаны в радиодиапазоне. Достаточно напомнить об обнаружении квазаров и пульсаров. А с тех пор как астрономы поняли, что космические радиоволны очень часто излучаются высокоэнергичными электронами, радиоастрономия оказалась тесно связанной с астрофизикой космических лучей и в течение продолжительного времени оставалась практически единственным ис-

Краткое изложение статьи, помещенной в октябрьском номере «Успехов физических наук» за 1972 год. Публикация подготовлена Я. М. Хазаном. (Прим. ред.)

Новая область астрономии — гамма-астрономия своими достижениями обязана успехам баллонной и ракетной техники. Телескопы, вынесенные за пределы земной атмосферы, принесли первые сведения об источниках гамма-излучения во Вселенной.

точником информации о космических лучах в нашей и других галактиках.

Здесь мы расскажем о другой возможности изучения космических лучей — исследовании порождаемого ими электромагнитного излучения с длиной волны меньше $0,1 \text{ \AA}$, то есть с энергией фотонов больше $0,1 \text{ Мэв}^*$. Такие фотоны называют обычно **гамма-лучами**, а занимающуюся ими область астрономии — **гамма-астрономией**.

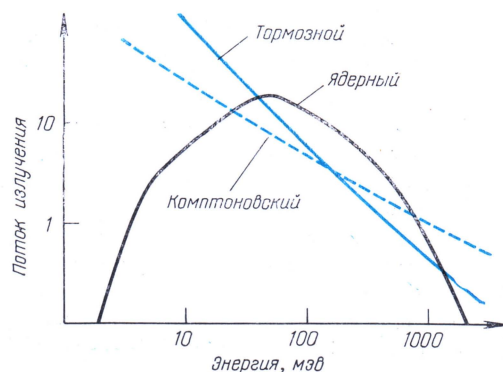
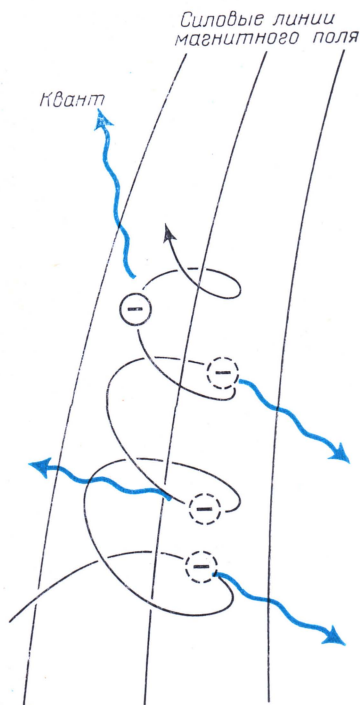
ЧТО МЫ ЗНАЕМ О КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

Уже давно установлено, что из космического пространства приходит на Землю какое-то излучение, названное «космическими лучами». Это излучение сейчас довольно хорошо исследовано. Оно состоит из высокоэнергичных заряженных частиц: протонов, электронов, ядер. Как выяснилось, большая часть энергии кос-

мических лучей заключена в протонно-ядерной компоненте: каждая сотня частиц одинаковой энергии в среднем содержит только один электрон, а остальные — протоны и ядра. Несмотря на столь явное количественное превосходство протонов и ядер над электронами, практически вся информация о космических лучах вдали от Земли относится к электронной компоненте.

Это объясняется тем, что радиоастрономы принимают в основном электромагнитные волны, которые испускаются высокоэнергичными электронами (энергия больше 1 Гэв), вращающимися в магнитном поле. Это излучение называют магнитотормозным, или синхротронным. Любые заряженные частицы, движущиеся в магнитном поле, будут излучать аналогичным образом, но поскольку частота этого излучения определяется величиной отношения полной энергии частицы и ее энергии покоя, равной произведению массы частицы на квадрат скорости света, то две частицы разной массы излучают на одинаковой частоте лишь в том случае, если отношение их энергий равно отношению масс. Протон тяжелее электрона в 1840 раз, поэтому протон и электрон будут излучать на одинаковой частоте, если энергия протона в 1840 раз больше. В то же время измерения у Земли показали, что количество высокоэнергичных частиц в космических лучах падает с увеличением энергии. Поэтому в космических лучах на каждый протон, излучающий на данной частоте, приходится три миллиона электронов, излучающих на той же частоте, то есть синхротронное радиоизлучение

* Напомним, что фотон с длиной волны λ имеет энергию hc/λ , где $h = 6,6 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{сек}$ — постоянная Планка, а $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/сек}$ — скорость света. Мы будем выражать энергию в электрон-вольтах ($1 \text{ эв} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$) и более крупных единицах — мегаэлектрон-вольтах ($1 \text{ Мэв} = 10^6 \text{ эв}$) и гигаэлектрон-вольтах ($1 \text{ Гэв} = 10^9 \text{ эв}$).



протонов и ядер пренебрежимо мало. Следовательно, радиоизлучение несет информацию только об электронной компоненте космических лучей. И все-таки из радиоданных можно было бы попытаться извлечь сведения о распределении протонов и ядер космических лучей вдали от Земли, если бы мы могли быть уверены, что всюду во Вселенной от-

Электронны космических лучей, двигаясь в магнитном поле, излучают кванты в радиодиапазоне

Гамма-излучение в Космосе возникает при рождении и распаде нейтрального пи-мезона (π^0), при столкновении энергичного электрона с ядром межзвездного газа, при рассеянии высокоэнергичных электронов на оптических квантах. Справа показан спектр гамма-излучения для этих процессов. Поток излучения дан в произвольных единицах. По виду спектра можно судить о том, как образовалось гамма-излучение

ношение числа протонов к числу электронов в космических лучах такое же, как в Солнечной системе. Однако для такого далеко идущего предположения не всегда есть основания.

Например, мы до сих пор не знаем, какова плотность энергии космических лучей (суммарная энергия всех частиц, находящихся в единице объема) в Метагалактике или хотя бы в прилегающей к Галактике ее части. Поэтому наряду с галактическими моделями происхождения космических лучей продолжают обсуждаться, а иногда даже считаются предпочтительными метагалактические модели. Согласно галактическим моделям, наблюдаемые у Земли и в Галактике космические лучи поставляются источниками, находящимися в самой Галактике (такими источниками могут быть, например, вспышки Сверхновых звезд), а в межгалактическом пространстве плотность энергии космических лучей значительно меньше, чем в Галактике. Напротив, в метага-

лактических моделях принимается, что вся Метагалактика или обширная ее часть, включающая Галактику, заполнена космическими лучами, которые имеют такую же плотность энергии и энергетический спектр, как наблюдаемые у Земли космические лучи. Эти космические лучи накапливаются в межгалактическом пространстве мощными отдаленными источниками (такими, как радиогалактики и квазары), а роль собственных источников в Галактике мала.

Автор считает метагалактические модели значительно менее вероятными, чем галактические. Мы не будем приводить здесь соответствующие аргументы, поскольку все они имеют косвенный характер и их нельзя рассматривать как доказательства. Чтобы отыскать убедительные доводы, а главное, определить плотность энергии космических лучей в отдаленных частях Галактики, радиогалактиках и других источниках, нужен новый метод. Таким методом и является исследование космических гамма-лучей.



МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПЕКТРЫ ЯДЕРНЫХ ГАММА-ЛУЧЕЙ

Радиоастрономические исследования нашей и других галактик убедительно доказали, что пространство между звездами заполнено хотя и очень малым, но вполне ощутимым количеством газа, состоящего в основном из водорода. Плотность газа, по земным масштабам, ничтожна. Например, в нашей Галактике средняя плотность межзвездного газа равна примерно одному атому в кубическом сантиметре, а в ряде областей еще ниже (для сравнения укажем, что в одном кубическом сантиметре воздуха находится $3 \cdot 10^{19}$ молекул). Несмотря на такую крайнюю разреженность, этот газ можно обнаружить по радиоизлучению с длиной волны 21 см.

Ядра и протоны космических лучей при движении сквозь межзвездный газ испытывают столкновения с ядрами его атомов. В результате взаимодействий протонов и ядер космических лучей с ядрами межзвездного газа возникают новые частицы, имеющие малые времена жизни и распадающиеся с образованием гамма-квантов. Такое гамма-излучение мы и будем называть для краткости **ядерными** гамма-лучами.

Ядерные взаимодействия, в которых рождаются гамма-лучи, довольно хорошо изучены в экспериментах на ускорителях элементарных частиц. Оказалось, что основной вклад в излучение гамма-квантов дают процессы образования нейтральных пи-мезонов с последующим их распадом на два кванта. Каждый из них имеет довольно значительную энергию, так как кванты, возникающие при распа-

де нейтрального пи-мезона, уносят всю его энергию, включая энергию покоя, равную примерно 135 Мэв. Поэтому при распаде покоящегося нейтрального пи-мезона энергия одного гамма-кванта составляет 67,5 Мэв.

Таким образом, протонно-ядерную компоненту космических лучей можно было бы исследовать, анализируя гамма-излучение, рождающееся в ядерных взаимодействиях. Однако нужно отличать ядерные гамма-лучи от гамма-лучей, которые образуются за счет других механизмов, например тормозного излучения, возникающего при столкновении энергичных электронов с ядрами межзвездного газа, или комптоновского излучения, появляющегося при рассеянии высокоэнергичных электронов на оптических квантах света звезд. К счастью, спектр ядерного гамма-излучения совершенно не похож на спектры гамма-лучей другой природы. При энергиях, меньших 50—70 Мэв, потоки ядерных гамма-лучей резко падают, а потоки комптоновских и тормозных — возрастают. Если во время измерения потока гамма-излучения от какого-то небесного объекта детектор зафиксирует меньше гамма-квантов с энергиями 30 Мэв, чем квантов с энергиями, скажем, 70 Мэв, у нас будут все основания утверждать, что гамма-лучи образовались при взаимодействии протонов и ядер космических лучей с протонами и ядрами газа в этом объекте. Если, кроме того, из каких-то других источников известна масса газа в небесном объекте (обычно она измеряется радиоастрономическими методами), то можно определить и количество космических лучей. Нет необходимости

еще раз подчеркивать исключительную важность такой информации.

ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ГАЛАКТИКИ

Гамма-астрономия пока находится в начальной стадии своего развития. Тем не менее уже появились сообщения об открытии дискретных гамма-источников и были попытки измерить фоновую компоненту гамма-излучения*.

Для нашей Галактики получены предварительные результаты о форме спектра, позволяющие думать, что мы имеем дело именно с гамма-излучением ядерного происхождения. Американские исследователи, измерив поток квантов с энергией больше 50 Мэв от центральной области Галактики, определили также отношение квантов, имеющих энергию в интервале 50—100 Мэв, к количеству квантов с энергией больше 100 Мэв. Выяснилось (но это нуждается в дальнейшей проверке!), что данное отношение не превосходит 0,5. Теоретическое значение этого отношения для гамма-лучей ядерной природы около 0,1, в то время как для спектра гамма-лучей, родившихся при тормозных и комптоновских взаимодействиях, оно равно, соответственно, 2,03 и 0,74 (если электроны космических лучей имеют такой же спектр, как и у Земли).

Изучение углового распределения гамма-лучей показало, что детектор

* А. М. Гальпер, В. Г. Кириллов-Угрюмов, Б. И. Лучков. Дискретные источники гамма-квантов. Статья опубликована в этом номере журнала.



фиксирует наибольший поток, когда он направлен вдоль галактической плоскости, причем центральная область Галактики попадает в поле зрения приемника. Обнаружено увеличение числа зафиксированных квантов в интервале $\pm 15^\circ$.

Радиоастрономы исследовали структуру центральной области и количество газа в ней. Они выделили в центре Галактики небольшой, поперечником 500 пс ($1,5 \cdot 10^{21}$ см), быстро вращающийся диск. Из него-то, скорее всего, и идет гамма-излучение. Масса диска составляет несколько миллионов солнечных (масса Солнца равна $2 \cdot 10^{33}$ г). Зная массу газа и поток гамма-излучения, можно определить количество космиче-

ских лучей в излучающей области. Оказалось, что плотность энергии космических лучей в этом объеме в несколько сот (и до тысячи) раз превышает плотность энергии у Земли, а полная их энергия может достигать 10% энергии космических лучей во всей Галактике. Эти цифры говорят о том, что центральная область может быть мощным источником космических лучей, вопреки метагалактической теории, согласно которой в нашей Галактике не должно быть очень мощных собственных источников.

Наконец, интересно было бы выяснить, откуда взялись космические лучи в центральной области Галактики. Однозначно ответить на этот вопрос пока не представляется возможным, хотя некоторые соображения можно высказать. Совокупность астрономических данных, относящихся к галактическому центру, наводит на мысль о том, что примерно десять миллио-

нов лет тому назад в центральной области произошел взрыв, во время которого выделилась огромная энергия. Вполне может быть, что наблюдаемая сейчас активность центральной области Галактики, в том числе и большое количество космических лучей в ней,— отголосок этого взрыва. В какой степени такие представления близки к истине,— покажут дальнейшие исследования.

ГДЕ ОБРАЗОВАЛИСЬ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ — В ГАЛАКТИКЕ ИЛИ В МЕТАГАЛАКТИКЕ?

Непосредственное измерение методами гамма-астрономии плотности энергии космических лучей вне нашей Галактики позволило бы сделать выбор между галактической и метагалактической теориями происхождения космических лучей. Продемонстрируем это на конкретном примере Магеллановых Облаков.

Магеллановы Облака. Измерение гамма-излучения от этих галактик поможет решить проблему происхождения космических лучей



Кандидат физико-математических наук
А. М. ГАЛЬПЕР

Доктор физико-математических наук
В. Г. КИРИЛЛОВ-УГРЮМОВ

Кандидат физико-математических наук
Б. И. ЛУЧКОВ

Дискретные источники гамма-квантов

Большое и Малое Магеллановы Облака — ближайшие к нам галактики. Расстояния до них и их массы довольно хорошо известны, поэтому, измеряя потоки гамма-излучения от этих галактик, мы смогли бы определить количество космических лучей в них. Галактическая и метагалактическая теории предсказывают различные количества космических лучей в Магеллановых Облаках.

Согласно метагалактической теории, мы должны считать, что в Магеллановых Облаках плотность энергии космических лучей такая же, как в нашей Галактике. Тем самым однозначно определяется поток ядерных гамма-лучей от Магеллановых Облаков, который должен для обоих Облаков, вместе взятых, равняться примерно $3 \cdot 10^{-3}$ квант/м²·сек. Существенно, что в метагалактических моделях полный поток в принципе может превышать это значение (если велик вклад других механизмов), но никак не может быть меньше. В галактических моделях возможны как большие, так и меньшие значения потока. Поэтому, если будущие измерения обнаружат поток, меньший $3 \cdot 10^{-3}$ квант/м²·сек, то метагалактические модели будут опровергнуты. В противном случае вопрос останется открытым.

Современным детекторам гамма-квантов пока не доступны столь малые потоки. Но можно надеяться, что в будущем, когда удастся создать более чувствительные гамма-телескопы, поток гамма-излучения от Магеллановых Облаков будет определен. Тем самым, вероятно, будет достигнут большой прогресс в области проблемы происхождения космических лучей.

Бурное развитие техники космических полетов, свидетелями которого мы являемся, привело к возникновению новых научных направлений. Одно из них — гамма-астрономия.

Читателю, наверное, известно, что окружающий Землю воздушный океан поглощает практически все электромагнитное излучение, которое приходит из космического пространства. Только видимый свет и радиоволны достигают земной поверхности. Поэтому космические гамма-кванты — высокоэнергичную часть электромагнитного излучения — можно регистрировать лишь в верхних слоях атмосферы или за ее пределами. Есть и другая причина, заставляющая поднимать аппаратуру на большие высоты. Это — огромный поток вторичных гамма-квантов, которые возникают при взаимодействии космических лучей с атомами газов атмосферы. Вторичный поток в глубине атмосферы настолько велик, что первичное космическое гамма-излучение «растворяется» в нем. Вот почему приборы, регистрирующие гамма-кванты, устанавливают на высотных аэростатах, искусственных спутниках Земли и орбитальных станциях.

Диапазон энергий гамма-квантов очень велик. Его условно подразделяют на четыре интервала: мягкие гамма-кванты (энергия от 0,1 до 10 Мэв), энергичные (10 Мэв — 1 Гэв), жесткие (1—100 Гэв) и сверхжесткие (больше 100 Гэв). Заметим, что максимальная энергия космических гамма-квантов составляет 10^{14} эв, в то время как на крупнейших ускорителях можно получить гамма-кванты лишь с энергией около 10^{11} эв.

К настоящему времени проведены

наблюдения многих космических объектов в различных интервалах гамма-диапазона. Но прежде чем перейти к рассмотрению результатов наблюдений и того нового, что они дают для астрофизики, остановимся на методах регистрации космических гамма-квантов.

КАК ИЗМЕРЯЮТ КОСМИЧЕСКОЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ

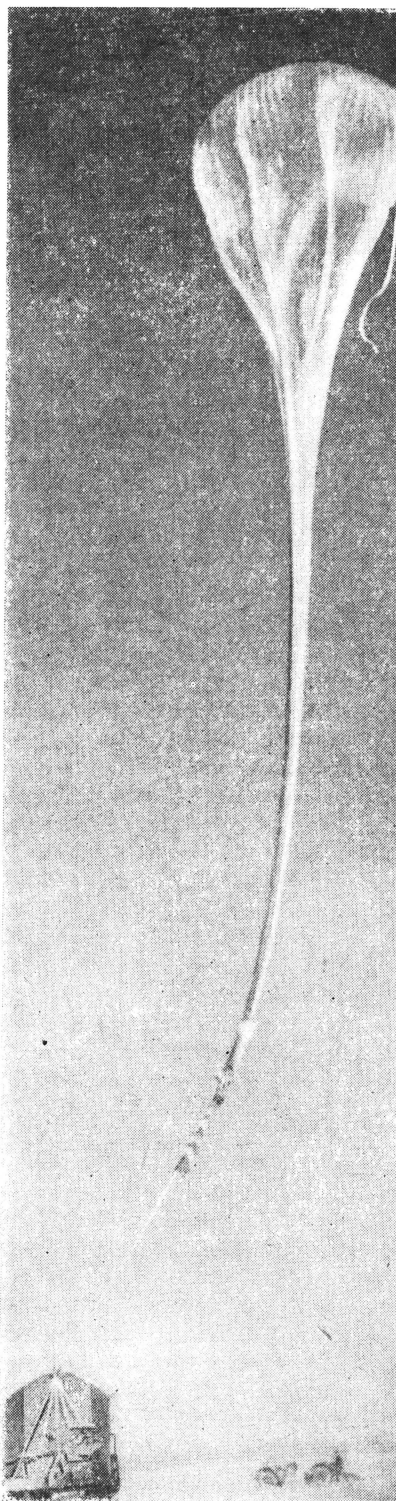
Хотя все основные инструменты современной астрономии принято называть телескопами, гамма-телескопом ничем не напоминает своего оптического брата. В нем нет ни линз, ни прецизионных зеркал. Скорее, он похож на те «земные» приборы, которые используются в ядерной физике. И это не случайно, так как методы регистрации гамма-квантов и заряженных частиц во многом совпадают.

Поскольку гамма-квант — нейтральная частица, в гамма-телескоп вводится конвертор, где гамма-квант создает заряженные частицы. В конверторе, которым чаще всего служит слой свинца, мягкие гамма-кванты рассеиваются на электронах (комpton-эффект), а более энергичные превращаются в пару — электрон и позитрон (конверсия гамма-кванта). Регистрация электронов отдачи, возникающих при комpton-эффекте, или конверсионных пар, осуществляется уже с помощью различных счетчиков — черенковских, сцинтилляционных, кристаллических и так далее. Счетчики вместе с конвертором и составляют гамма-телескоп. Но такой телескоп будет считать и заряженные космические частицы, поток которых в тысячи раз превосхо-

дит поток космических гамма-квантов. Напомним, что на каждый квадратный сантиметр поверхности атмосферы падает в секунду в угле в один стерадиан приблизительно одна заряженная частица. Чтобы исключить возможность регистрации заряженных частиц, конвертор и счетчики помещаются под большим сцинтилляционным счетчиком, как под колпаком. Когда в телескоп попадает гамма-квант, счетчик-колпак не дает сигнала. Если же проникает заряженная частица, он вырабатывает сигнал и зарегистрированное телескопом в это же время событие исключается из рассмотрения. Повысить надежность регистрации гамма-квантов помогают искровые камеры, в которых можно увидеть следы заряженных частиц, прошедших через телескоп. Использование искровых камер также улучшает угловое разрешение телескопа.

Первый спутниковый гамма-телескоп с искровой камерой, события в которой регистрировались на фотопленку, был создан в Московском инженерно-физическом институте и в январе 1969 года работал на искусственном спутнике Земли «Космос-264». Сейчас такие телескопы стали основным инструментом гамма-астрономии.

Телескоп такого типа с искровой камерой (или без нее) способен обнаружить мягкие, энергичные и жесткие гамма-кванты. Регистрация сверхжестких гамма-квантов основана на качественно ином методе, предложенном советскими физиками Г. Т. Зацепиным и А. Е. Чудаковым. Сверхжесткий гамма-квант создает в верхних слоях атмосферы ливень элект-



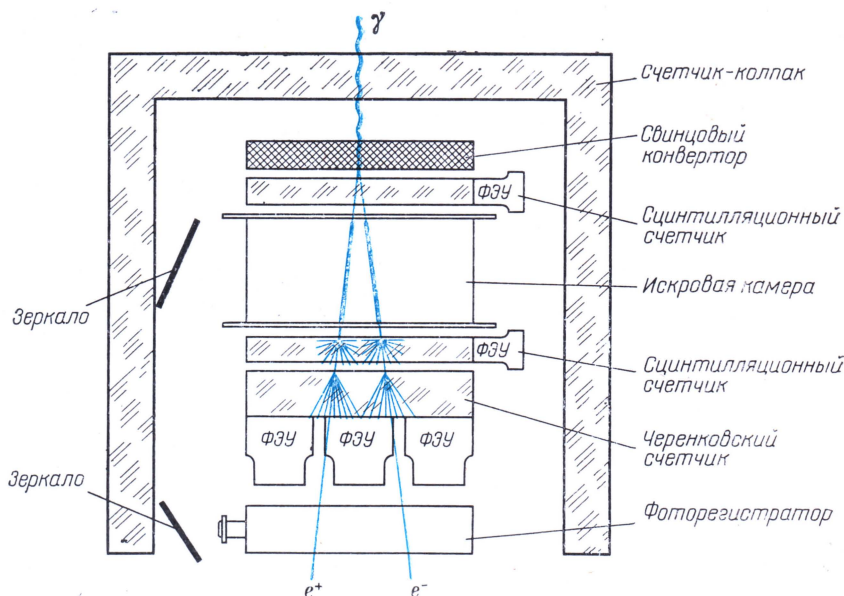
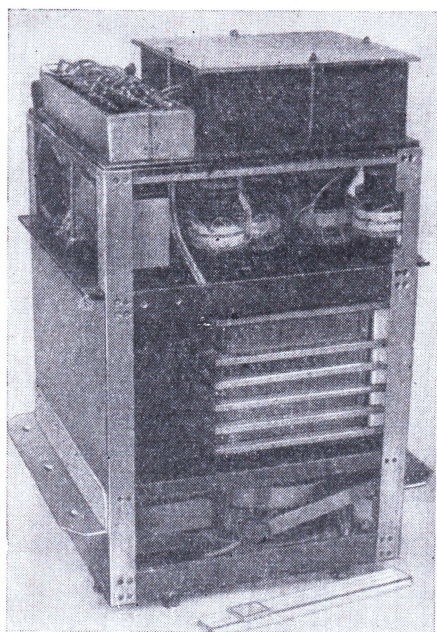
ронов и позитронов. Каждая частица ливня излучает свет (черенковское излучение), который достигает поверхности Земли. Это излучение собирается в фокусе параболического зеркала, где находится чрезвычайно чувствительный приемник-фотоумножитель. Преимущество этого метода в том, что, подобно оптическим телескопам, прибор устанавливается на поверхности Земли и его можно направить на исследуемый космический объект. Но и на Земле приходится работать в условиях большого фона: мощное черенковское свечение приносят ливни, которые порождаются заряженными космическими частицами.

Итак, мы знаем, как регистрируют первичные космические гамма-кванты и где следует проводить наблюдения.

ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ ГАЛАКТИКИ

Задолго до первого наблюдения космических гамма-квантов физики-теоретики не только предсказали существование их в космических лучах, но и рассчитали интенсивности ожидаемых потоков. Эти расчеты, проведенные, в частности, академиком В. Л. Гинзбургом и доктором физико-математических наук С. И. Сыроватским, показали, что наибольший поток гамма-квантов (приблизительно 1 квант/ $\text{м}^2 \cdot \text{сек}$) ожидается от центра Галактики.

В первых полетах на советских и американских искусственных спутниках Земли гамма-телескопы обнаружили только диффузное космическое гамма-излучение, поступающее



на Землю равномерно из всех точек пространства. Предполагается, что это «свечение» создают гамма-кванты, возникающие в Метагалактике, когда электроны сверхвысокой энергии сталкиваются с малоэнергичными квантами реликтового фона, заполняющими Вселенную, и передают им часть своей энергии.

Но вот в 1968 году на американском спутнике OSO-3 (орбитальная солнечная обсерватория) было сделано одно из самых интересных открытий гамма-астрономии — от нашей Галактики обнаружен поток гамма-квантов с энергией около 100 Мэв. Небольшой гамма-телескоп с гру-

Устройство гамма-телескопа с искровой камерой. Гамма-квант (γ) беспрепятственно проходит через счетчик-колпак и попадает в конвертор. Здесь эта нейтральная частица порождает электрон (e^-) и позитрон (e^+). В искровой камере частицы оставляют ионизационный след, а в сцинтилляционных и черенковских счетчиках вызывают вспышки света, которые «улавливаются» фотоумножителями. Электрические импульсы с фотоумножителей поступают на электронную схему выделения

бым угловым разрешением (без искровой камеры) в течение 16 месяцев виток за витком просматривал небесную сферу. Как только ось телескопа направлялась на Млечный Путь, поток гамма-квантов возрастал. Ярко «светил» в гамма-лучах центр Галактики, расположенный, как известно, в созвездии Стрельца.

Чем вызвано галактическое гамма-излучение? Для его объяснения было выдвинуто несколько гипотез, из которых с наблюдениями лучше согласуется «пионная» модель. Излучение объясняется распадом нейтральных пи-мезонов, рожденных в столкновениях протонов и ядер космических лучей с межзвездным газом*. Вычисленное по этой модели изменение гамма-потока с галактической долготой в общем не противоречит экспериментальным данным, за исключением центра Галактики, где измеренный поток оказался приблизительно в 5 раз больше расчетного. Расхождение указывает либо на по-

вышенную плотность межзвездного газа, либо на повышенную интенсивность космических лучей. А это может означать, что космические лучи генерируются галактическим ядром.

Итак, обнаружено излучение из центра Галактики. Но что это: свечение компактного галактического ядра или протяженной области вблизи галактического центра? Естественно, что первый эксперимент, в котором угловое разрешение составляло около 30° , дать ответа на вопрос не мог. И тут сказали свое слово более чувствительные, с лучшим угловым разрешением, искровые гамма-телескопы. Стартовавшие на высотных аэростатах в Австралии, Америке и Европе гамма-телескопы взяли «на прицел» различные участки Галактики, в том числе и ее центр.

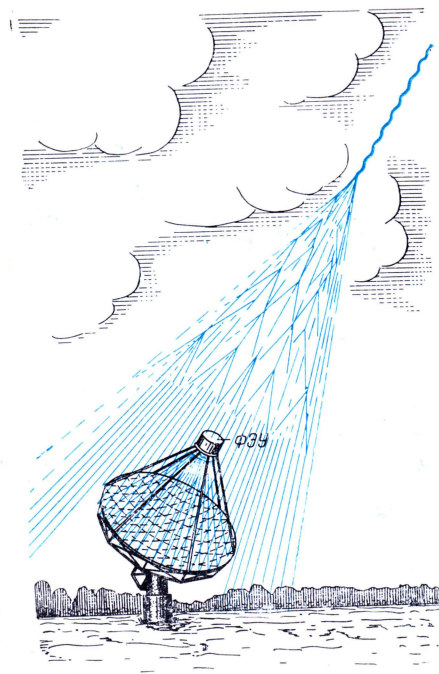
Результат наблюдений оказался крайне неожиданным: поток от ядра Галактики не был зарегистрирован! Максимально возможный поток гамма-излучения, вычисленный по результатам наблюдений, в 4 раза меньше того, что было первоначально измерено на OSO-3. Что же тогда зарегистрировали на OSO-3? Оказывается, излучение отдельных (дис-

* В. Л. Гинзбург. Гамма-астрономия и космические лучи. Статья опубликована в этом номере журнала.

кретных) гамма-источников, расположенных вблизи, но не в центре Галактики. Интенсивность каждого источника около 10^{-1} квант / $m^2 \cdot сек$. Несколько позже стало ясно, что поток от других участков Млечного Пути также обязан дискретным источникам. В некоторых случаях они совпадают с известными объектами, например с Крабовидной туманностью или с рентгеновскими источниками (Лебедь XR-2, Кассиопея А и другие).

Но где же тогда активность галактического ядра? Действительно ли ядро генерирует космические лучи, как предполагает академик В. Л. Гинзбург? К сожалению, точного ответа пока нет. Нет потому, что результаты аэростатных наблюдений еще грубы, часто не согласуются друг с другом. Но может быть, наконец, активность галактического ядра переменна?

А что представляют собой другие галактические источники гамма-квантов? Самый замечательный среди них, бесспорно, Крабовидная туманность. Она светится во всех доступных измерениям диапазонах электромагнитного излучения и в ее центре находится пульсар NP 0532. Многие исследователи пытались обнаружить гамма-излучение как всей туманности, так и самого пульсара. Поиск гамма-излучения пульсара был облегчен дополнительным условием: искалось пульсирующее излучение с периодом 33 миллисекунды — с таким же, как в оптике и рентгене. Оказалось, что в пульсирующей компоненте сосредоточена большая часть гамма-излучения



Космические гамма-кванты порождают в земной атмосфере ливень электронов и позитронов, которые испускают черенковское излучение. Это излучение собирается параболическим зеркалом и регистрируется фотоумножителем

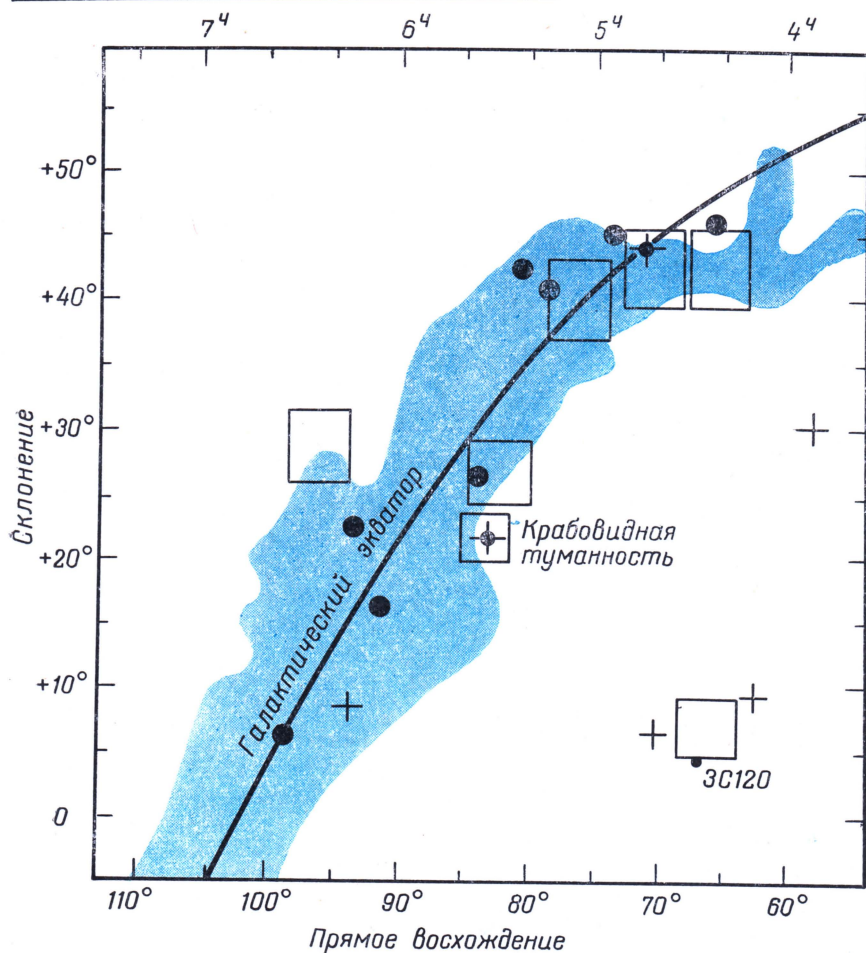
Наземная установка для регистрации гамма-квантов, созданная в Крымской астрофизической обсерватории

пульсара начиная с энергии 10 Мэв и выше. У Крабовидной туманности обнаружено излучение почти во всех энергетических интервалах гамма-диапазона — от мягких до сверхжестких гамма-квантов. Последние наблюдения туманности в сверхжестких лучах, проводимые наземными телескопами, указывают на существование «вспышек» гамма-квантов с энергией больше $2 \cdot 10^{11}$ эв. «Вспышки» следуют за резкими изменениями периода пульсаций, которые происходят у пульсара приблизительно раз в год.

Наземные телескопы зарегистрировали сверхжесткие гамма-кванты не только от Крабовидной туманности. Сотрудники Крымской астрофизической обсерватории АН СССР открыли еще два дискретных источника сверхжесткого гамма-излучения, которые расположены в созвездиях Лебедя и Кассиопеи, вблизи плоскости Галактики, и пока не отождествлены с известными небесными объектами. Наблюдения свидетельствуют о переменной активности источников.

ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ГАММА-КВАНТОВ

В ноябре 1968 г. на искусственном спутнике Земли «Космос-251» работал телескоп, регистрировавший гамма-кванты с энергией больше 100 Мэв. Ось телескопа вычерчивала на небесной сфере круг, который благодаря повороту плоскости вращения спутника постепенно смещался и «наплывал» на Млечный Путь. Выделить гамма-излучение плоскости Галактики не удалось, но был обнаружен поток гамма-квантов от уча-



стка небесной сферы, почти на 30° удаленного от плоскости Млечного Пути. Откуда же приходят гамма-кванты?

Провести достаточно надежное отождествление гамма-источника с известным оптическим или радио-объектом трудно, так как в этой области неба находится слишком много

Часть Млечного Пути в районе антицентра Галактики. Зарегистрированное отсюда гамма-излучение состоит из отдельных потоков, исходящих от участков неба, отмеченных квадратами. Это — излучение дискретных источников гамма-квантов, которыми в ряде случаев являются остатки Сверхновых (кружки) и рентгеновские источники (крестики). Гамма-источники, расположенные в стороне от Млечного Пути, могут быть внегалактическими

объектов. На каком же из них остановить выбор? По-видимому, выбирать надо не из огромного количества спокойных звезд, а среди гораздо меньшего числа необычных активных объектов.

Приблизительно в то время, когда происходила обработка результатов наблюдений, член-корреспондент АН СССР И. С. Шкловский высказал предположение, что некоторые переменные радиогалактики могут быть источниками гамма-излучения, интенсивность которого резко возрастает одновременно со вспышкой в радиодиапазоне. Один из рассмотренных И. С. Шкловским объектов — радиогалактика 3C 120 — оказался в центре области гамма-излучения. Более того, время наблюдения гамма-квантов совпало с самым мощным радио-

всплеском, зарегистрированным когда-либо от этого объекта. Выбор сделан: вероятнее всего, именно переменная радиогалактика 3C 120 является источником гамма-квантов. Возможно, что гамма-излучение галактики также переменное и была зарегистрирована его вспышка. Измеренная мощность гамма-излучения 3C 120 составляет 10^{47} эрг/сек, что превосходит мощность ее излучения в других диапазонах. Такой объект с полным правом может быть назван гамма-галактикой.

Результат, полученный «Космосом-251», был недавно подтвержден наблюдениями, выполненными франко-итальянской группой исследователей. Один из дискретных источников энергичных гамма-квантов, обнаруженный телескопом, который был поднят на высотном аэростате, совпал с радиогалактикой 3C 120. Другие источники являются, по-видимому, галактическими, так как расположены вблизи плоскости Галактики.

Прямое доказательство переменности гамма-галактик было получено американскими учеными. В трех полетах на высотных аэростатах они с помощью искрового гамма-телескопа наблюдали центр Галактики. В третьем полете, проведенном через 9 месяцев после второго, был зарегистрирован новый дискретный источник. Этот источник отождествили с необычным (пекулярным) внегалактическим объектом — радиогалактикой PKS 1514-24. У галактик PKS 1514-24 и 3C 120 много общего: они не только переменны в радиодиапазоне, но обладают сравнительно ярким (13—14 звездная величина)



«Луноход-2» на Луне!

переменным в оптическом диапазоне ядром. К настоящему времени известно не более десяти подобных космических объектов, и уже от двух из них зарегистрировано гамма-излучение!

Сейчас имеются сообщения о наблюдении двух-трех десятков дискретных источников гамма-квантов, расположенных в нашей Галактике и за ее пределами. Правда, лишь немногие из них могут считаться надежно установленными. Эти источники обнаружены гамма-телескопами, способными зарегистрировать поток в $1 - 10^{-1}$ квант / $\text{м}^2 \cdot \text{сек}$. Таков первый шаг гамма-астрономии.

Чтобы обнаружить поток гамма-излучения интенсивностью около 10^{-3} квант / $\text{м}^2 \cdot \text{сек}$, надо существенно увеличить чувствительность гамма-телескопов и длительность наблюдений. Выполнить эти требования можно, установив высокочувствительные, с хорошим угловым разрешением гамма-телескопы на специальных искусственных спутниках Земли и долговременных орбитальных станциях. И тогда можно в течение продолжительного времени непрерывно наблюдать за центром Галактики, пульсарами, Сверхновыми, Магеллановыми Облаками, квазарами и другими загадочными объектами. И каждый раз вслед за открытием дискретного гамма-источника должны быть проведены измерения энергетического спектра, переменности и степени поляризации излучения, что необходимо для выяснения природы объекта. Это будет вторым шагом гамма-астрономии, который она сделает в ближайшем будущем.

Когда этот номер был уже сверстан и готовился к печати, стало известно о новом крупном достижении советской науки и техники.

16 января 1973 года в 01 час 35 минут по московскому времени автоматическая станция «Луна-21» совершила мягкую посадку на поверхность Луны на восточной окраине Моря Ясности, внутри кратера Лемонье.

Станция доставила на Луну автоматический самоходный аппарат «Луноход-2», который продолжит исследования лунной поверхности, проводившиеся в Море Дождей аппаратом «Луноход-1». Вес «Лунохода-2» 840 кг.

На луноходе и посадочной ступени установлены Государственный флаг СССР, вымпелы с барельефом В. И. Ленина, изображением Государственного герба Советского Союза и надписью «50 лет СССР».

Для проведения исследований на поверхности Луны и управления движением самоходный аппарат оборудован научной аппаратурой, системами управления, радио- и телевизионной связью. В соответствии с советско-французским соглашением о сотрудничестве в изучении и освоении космического пространства в мирных целях на «Луноходе-2» установлен уголкового отражателя, изготовленный французскими специалистами и предназначенный для продолжения экспериментов по лазерной локализации Луны.

«Луноход-2» приступил к выполнению намеченной программы исследований.



Вертикальное сейсмическое профилирование

РАЗВЕДЧИКИ ЗЕМНЫХ НЕДР

Сейсмические волны, проникая на разные глубины, отражаясь и преломляясь на границах слоев, возвращаются на дневную (земную) поверхность и несут в себе информацию о тех средах, через которые прошли. Нужно только научиться понимать эти сигналы. Однако расшифровывание записи волнового поля, то есть интерпретация сейсмограмм — задача достаточно сложная.

Для правильной интерпретации сейсмограммы необходимо знать, на каких неоднородностях образуются сейсмические волны, каковы их параметры и как формируется вся сейсмограмма. Эти сведения получают в результате теоретических и экспериментальных исследований. Но если в области теории распространения сейсмических волн, способах и методах теоретических расчетов волновых полей был достигнут существенный прогресс, то инструментальные исследования развивались значительно медленнее. В то же время сложность строения земной коры и недостаточные знания о ней не всегда позволяют пользоваться теоретическими расчетами. Поэтому при непосредственных наблюдениях волновых полей получают наиболее объективные сведения о сейсмических волнах, образующихся и распространяющихся в земной коре.

До последнего времени экспериментальное изучение сейсмических волн проводилось на дневной поверхности. По линии профиля представляются сейсмодатчики, которые регистрируют волны от взрыва. Волны, бегущие в различных направ-

Основные сведения о строении Земли в настоящее время приносят сейсмические волны. Но об этих волнах мы знаем еще далеко не все. Вертикальное сейсмическое профилирование — новый метод экспериментального изучения сейсмических волн.



лениях и с разными скоростями, накладываются друг на друга, образуя сложное волновое поле.

«Наземный» способ не дает представления о начале процесса, неизвестно также, что образовалось в источнике, что произошло на пути, по-

чему волн так много и где они «бродили», прежде чем попасть в точку наблюдения. Поэтому наземную сейсмограмму можно сравнить с кинолентой, рассматриваемой с середины.

А ведь именно от правильности определения природы сейсмических волн и их траекторий зависит точность всех дальнейших результатов и, в первую очередь, геологических построений. Если, например, волна дважды отразилась от какой-либо границы, а мы не сумели это распознать по сейсмограммам и считаем ее просто отраженной, то в расчетах превысим глубину залегания отражающей границы вдвое. И тогда, рекомендуя увеличить глубину бурения проектируемых скважин, мы завышаем стоимость бурения, которая «растет с глубиной». Практическая важность вопросов правильной интерпретации сейсмограмм очевидна. При сейсмической разведке правильная интерпретация — это новые структуры, где можно искать нефть и газ, новые рудные месторождения.

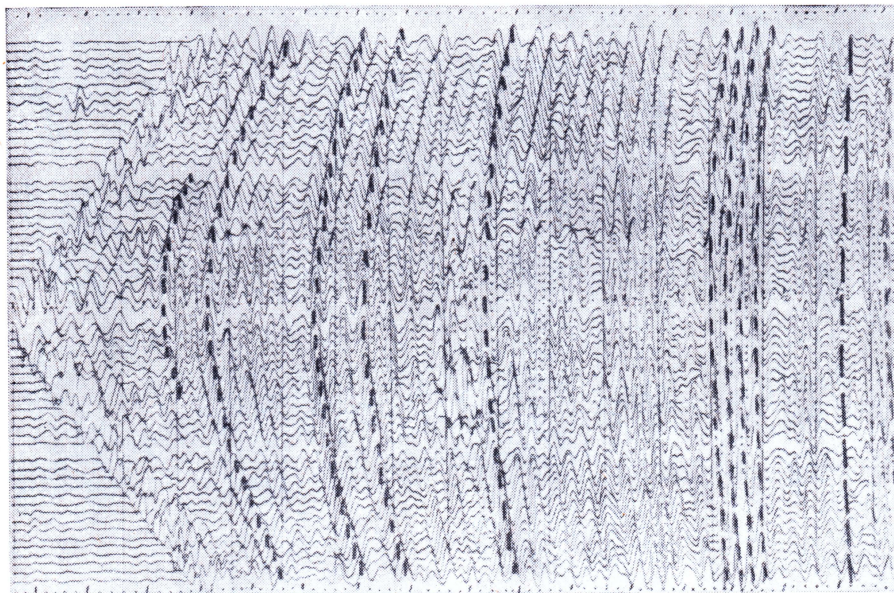
Геофизикам важно найти способ для просмотра не только «хвоста» киноленты — сформировавшегося волнового поля, но и первых ее частей — самого процесса его зарождения и развития. Необходимо было понять, как из сравнительно простого импульса в источнике образуется сложное волновое поле, видимое на обычных сейсмограммах, какие неоднородности среды и какие типы волн сыграли тут решающую роль.

Поскольку наблюдаемое на дневной поверхности волновое поле — это суммарная реакция среды, понадобился метод его расчленения и оцен-

ки влияния отдельных неоднородностей. Таким методом стало **вертикальное сейсмическое профилирование** (ВСП).

Что же такое ВСП? В начале 60-х годов Институт физики Земли АН СССР начал разрабатывать метод экспериментального изучения волновых полей с регистрацией волн в скважинах, что и стало основой вертикального сейсмического профилирования. **Линия наблюдения, то есть скважина, пересекает границы неоднородностей**, что позволяет изучить волны в непосредственной близости от каждой границы, выделяя из всей совокупности волн именно те, которые образовались в данном слое (здесь они менее всего искажены наложением других волн). Оказалось возможным произвести стратиграфическую привязку волн, то есть приписать им геологический возраст слоев, где данные волны образовались. При таких наблюдениях можно оценить влияние на волновое поле самой неоднородной верхней части разреза, примыкающей к дневной поверхности. А ведь именно на дневной поверхности образуется много различного рода волн-помех, и она, как правило, определяет характер сейсмограмм.

Чем же отличается волновое поле во внутренних точках среды от поля на поверхности Земли? Волновое поле при наблюдении в скважинах сложнее, чем на дневной поверхности. Дело в том, что **при наземных наблюдениях все неоднородности разреза оказываются под точкой наблюдения (сейсмоприемником)**, и все волны подходят к сейсмоприемникам только снизу, а при наблюдениях в



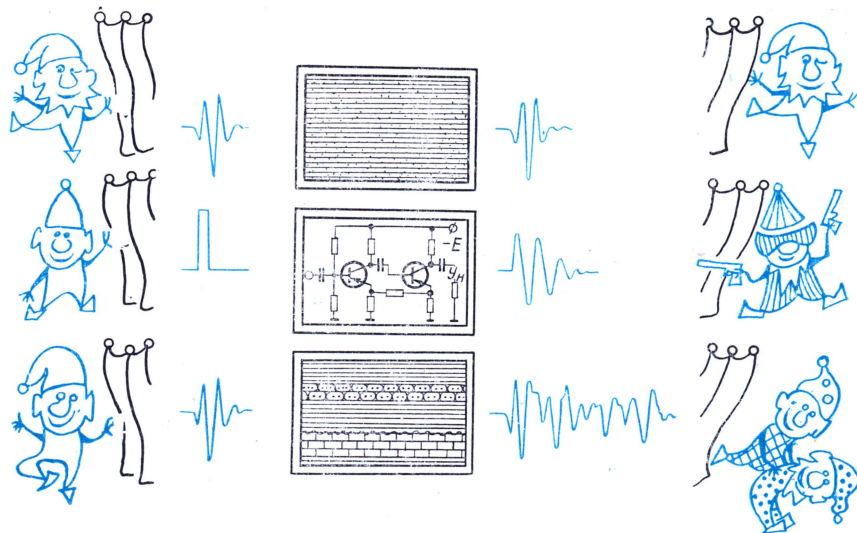
скважинах границы находятся как под, так и над сейсмоприемником. Поэтому в скважинах регистрируются также волны, претерпевшие отражение от дневной поверхности и гра-

ниц, расположенных выше сейсмоприемника, и распространяющиеся сверху в глубь среды.

Напомним, что сейсмические волны, возникающие в источнике, распространяются во всех направлениях с определенной скоростью, присущей данной среде. Этот процесс может характеризоваться двумя группами величин, связанных, во-первых, с **колебанием отдельной частицы** среды при прохождении волны через точку наблюдения (**траектория движения частицы**) и, во-вторых, с **распространением волны [скорость пробега и направление]**. Вертикальное сейсмическое профилирование открыло новые возможности в изучении обеих групп параметров.

При прохождении через точку наблюдения волн разных типов —

На сейсмограмме регистрируется множество волн различной природы (отраженные, преломленные, обменные) и разных типов (продольные, поперечные, поверхностные и другие). Очень непросто по обычной сейсмограмме понять природу сейсмических волн, выяснить, с какими границами они связаны, какие из них являются полезными волнами, действительно проникшими на интересующие исследователя глубины, а какие лишь «прошлись» вдоль земной поверхности и мешают выделению полезных волн, то есть являются помехами



продольных, поперечных, поверхностных — частицы среды колеблются по-разному. Продольные волны заставляют частицы двигаться вдоль луча, поперечные — перпендикулярно к нему. Если подходят сложные волны, образованные наложением простых, то частицы движутся по сложным траекториям — плоским (окружности, эллипсы) или пространственным. Эти траектории можно использовать для определения природы

Параметры электрической системы, как известно, могут быть определены по реакции системы на электрический импульс, поданный на вход. Если система сложная, то для оценки влияния различных звеньев ее расчленяют и изучают роль каждого звена в отдельности. По аналогии сейсмограмму можно рассматривать как реакцию среды на сравнительно короткий и простой сейсмический импульс, введенный источником, — взрыв или очаг землетрясения. Среда «транспортирует» сейсмическую энергию, в зависимости от строения преобразует импульс в ряд колебаний. Чем сложнее среда, тем более сложная волновая картина образуется. При вертикальном сейсмическом профилировании среда «расчленяется» и изучается влияние на волновое поле каждой отдельной неоднородности.

волн и, в частности, для выделения на сейсмограммах простых или сложных волн, а также для выбора в каждой точке наблюдения такой составляющей колебания (ориентировки сейсмоприемника), при которой данная волна регистрируется наилучшим образом. Кроме того, движение частиц сильно зависит от неоднородностей среды, и при наблюдениях в скважинах они могут быть источником информации о разрезе. Попытки использовать траектории движения частиц при наземных наблюдениях во многих случаях оказались неудачными из-за искажающего влияния дневной поверхности и верхней части разреза. Искажение бывает так велико, что направления движения частиц не соответствуют направлениям распространения волн.

Однако возможности, которые таит в себе изучение траектории движения частиц, до сих пор не использованы полностью и практически еще не раскрыты, так как эти работы пока не вышли из стадии экспериментов.

В настоящее время при вертикальном сейсмическом профилировании, как впрочем, и при наземных наблюдениях, в основном изучаются величины, связанные с распространением волн. Преимущество ВСП перед на-

земными наблюдениями заключается в изучении самого волнового процесса и условий формирования волнового поля.

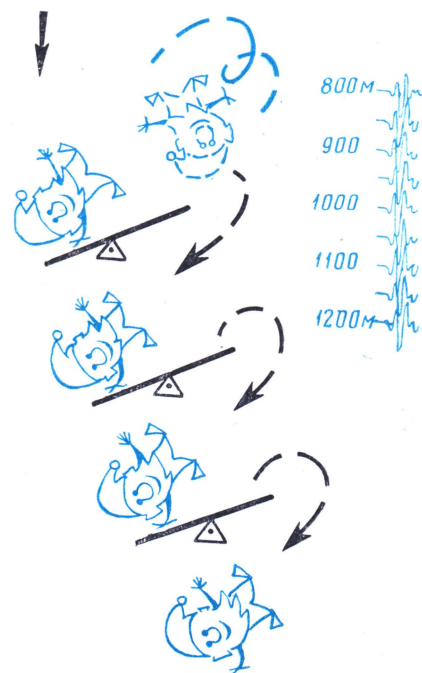
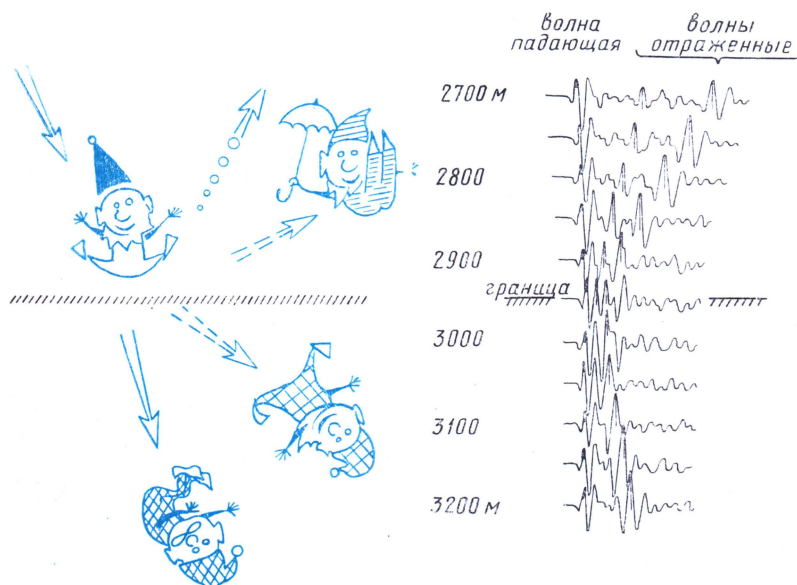
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН В ПРОСТРАНСТВЕ

Как же развивается волновой процесс? Он начинается в источнике (очаге землетрясения или взрыва). В окрестности источника обычно выделяются три зоны: **ударных волн, пластических и упругих деформаций**. Для сейсмических исследований основной интерес представляет последняя зона.

Прямая волна, формирующаяся в начале зоны упругих деформаций, оказывает сильное влияние на форму всех волн, образующихся в среде, — так называемых вторичных — и на структуру волнового поля в целом. «Материнская» прямая волна «по наследству» передает свои свойства всем вторичным волнам. Поэтому необходимо знать не только количество энергии, введенное в среду прямой волной (интенсивность волны), но и ее частотный состав (форму волны). Естественно, без детального изучения параметров прямой волны понять волновое поле практически невозможно.

С развитием вертикального сейсмического профилирования появилась возможность строго оценить параметры прямой волны. И что же мы узнали?

При взрыве в источнике образуется сравнительно простой импульс. Однако неоднородности среды в окрестности взрыва (особенно при взрывах у дневной поверхности) пре-



образуют его в более или менее сложный импульс прямой волны. То же самое происходит и при землетрясениях. Когда очаг находится на больших глубинах (500—700 км) в сравнительно однородной среде, форма прямой волны очень проста. Когда же очаг мелкий — в земной коре, — неоднородности строения коры превращают прямую волну в сложный цуг колебаний.

При падении импульса прямой волны на границу раздела образуются вторичные волны: две отраженные — продольная и поперечная и две преломленные — продольная и поперечная

Каждая частица среды при прохождении сейсмических волн начинает колебаться около точки покоя. При этом она передает энергию соседним частицам, что приводит к распространению волны. В однородной среде новых волн не образуется и форма падающей волны меняется плавно и не очень сильно

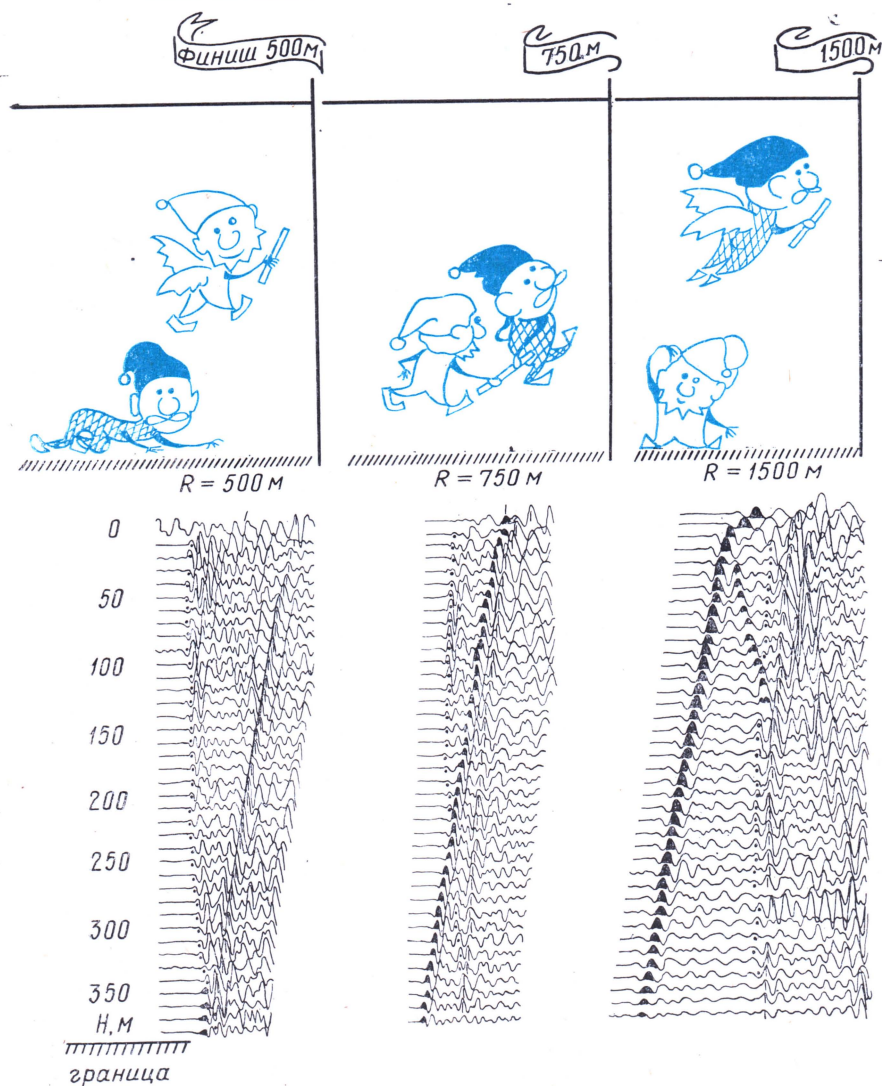
Поскольку влияние неоднородностей вблизи источника на импульсы, распространяющиеся вверх и в глубь среды, различно, прямая волна, зарегистрированная на дневной поверхности, может сильно отличаться от прямой волны, распространяющейся внутрь среды и дающей начало волновому процессу. Поэтому изучение прямой волны методом ВСП во внутренних точках земной коры позволяет получить именно те данные, которые могут быть положены в основу анализа волнового процесса.

ПОЧЕМУ ГЕОФИЗИКИ ИЗУЧАЮТ ВТОРИЧНЫЕ ВОЛНЫ?

Что же происходит с прямой волной в процессе ее распространения? В однородной, идеально упругой среде ее импульс не изменялся бы. В однородной, но неидеально упругой среде (например, мощные слои соли, отдельные толщи глин) энергия поглощается и интенсивность волны падает. Процесс этот происходит избирательно: чем выше частота, тем

сильнее поглощение. Поэтому импульс прямой волны, содержащий достаточно широкий спектр частот, при распространении меняет свою форму. По изменению формы импульса прямой волны можно определить **поглощение** — параметр, характеризующий среду. Сопоставление спектров импульсов прямой волны, полученных при ВСП на различных глубинах, — наиболее точный метод определения коэффициента поглощения и его зависимости от частоты, что лежит в основе изучения самого механизма поглощения.

В однородных средах никаких вторичных волн не образуется, однако в природе такие среды встречаются весьма редко. В подавляющем большинстве случаев геологические среды неоднородны. Для осадочных пород характерна слоистость, связанная с процессом осадконакопления, и, если они не нарушены тектоническими процессами, в них преобладают выдержанные горизонтальные или слабонаклонные границы с более или менее плавными поднятиями и по-



На расстоянии не более 500 м от источника первой по всему вертикальному профилю регистрируется прямая падающая волна (показана на рисунке точками). Только у нижней границы, на глубине 370 м, появляется преломленная волна (ее гребень отмечен черным цветом). На расстоянии 750 м от источника преломленная волна регистрируется первой на нижнем участке профиля до уровня 220 м, а на расстоянии 1500 м она регистрируется первой уже по всему профилю, а следовательно, и на дневной поверхности. Отраженная волна (показана штрихами) видна в последующих вступлениях, она все больше отстает от преломленной

гружениями. В изверженных породах границы могут иметь самую причудливую форму. В неоднородных средах не только меняется форма импульса прямой волны, но и появляются новые вторичные волны, а энергия перераспределяется между ними.

Параметры вторичных волн существенно зависят от параметров падающей волны и характеристик границы (изменения скоростей распространения упругих волн и плотностей пород контактирующих сред), а также от характера самой границы. Если резкая граница разделяет два толстых (по сравнению с длиной волны)

слоя, вторичные волны повторяют форму падающей волны. Для тонкого слоя форма вторичных волн может существенно отличаться от формы падающей. Таким образом, наблюдая вторичные волны, можно изучать физические свойства границ, с которыми они связаны.

Почему же сейсмическая энергия, ушедшая в глубь среды, вновь возвращается к дневной поверхности? Существуют два основных механизма возврата энергии — отражение и преломление. Соответственно и возвращающиеся волны называют либо **отраженными**, либо **преломленными**. На использовании этих волн основаны два главных метода сейсмических наблюдений — **метод отраженных** и **метод преломненных волн**. Разведочные возможности их различны.

Остановимся подробнее на описании вторичных волн — волн, отраженных и преломненных.

Отраженные волны — основной тип волн, регистрируемых на сейсмограммах, как на дневной поверхности, так и в скважинах. Наиболее полную и детальную информацию несут отраженные волны, которые распространяются по направлениям, близким к вертикали, и регистрируются на сравнительно небольших расстояниях от источника. Именно отраженные волны сделали сейсмические исследования основным методом поиска и разведки нефтяных и газовых месторождений.

Волны, отраженные даже от очень тонких слоев, могут обладать большой интенсивностью, что и определяет их разрешающую способность, под которой понимается возможность проследивать близко располо-

женные друг к другу границы. Сопоставление спектров прямых и отраженных волн, зарегистрированных в скважинах вблизи границ, позволяет определить спектр коэффициента отражения и получить характеристику слоев, образующих границу.

Отраженные волны достигают дневной поверхности, где они могут быть зарегистрированы наземными сейсмоприемниками, и возвращаются в глубь среды. Затем они вновь отражаются от границ, образуя **семейство кратных волн**. Таким образом, создается сложная совокупность волн, распространяющихся в двух противоположных направлениях — к дневной поверхности и в глубь среды, и не всегда удается разобраться в них, то есть понять, с каким слоем связана волна.

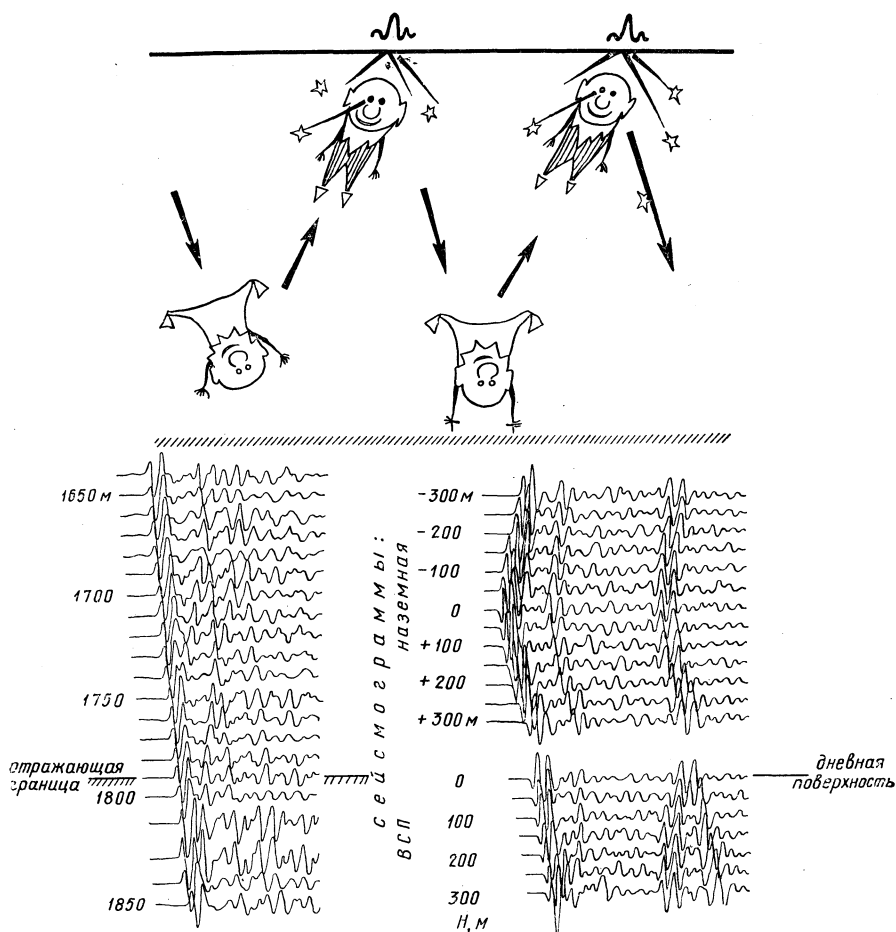
Множественно отраженные волны очень ограничивают глубинность сейсмических исследований, и чтобы избавиться от них, применяются сложные системы интерференционного направленного приема. Однако для эффективного использования такого приема необходимы сведения о полезных и кратных волнах. И здесь на помощь приходит вертикальное сейсмическое профилирование, которое позволяет определить, с какими границами связаны отраженные и многократные волны, изучить их относительную интенсивность и выбрать параметры системы оптимального приема.

Преломленные волны значительную часть пути распространяются вдоль слоев и регистрируются на больших, по сравнению с глубиной границ, расстояниях от источника. Они используются в основном при

изучении больших глубин — в региональных исследованиях.

Преломленные волны образуют начальные части сейсмограммы. В зависимости от механизма образования различают два вида преломленных

Между дневной поверхностью и отражающими границами внутри среды распространяются многократные волны, которые сильно усложняют интерпретацию (левая сейсмограмма). Наблюдения в скважинах позволяют выявить границы, с которыми они связаны, и опознать их на наземных сейсмограммах. Наиболее сильной отражающей границей является дневная поверхность. Отраженные ею в глубь среды волны регистрируются только в скважинах (правая нижняя сейсмограмма)



волн: **головные и рефрагированные**.

Головные волны скользят вдоль границ, рефрагированные проникают в преломляющий слой. Пути их распространения практически мало отличаются, и подчас трудно решить, волны какого типа зарегистрированы на сейсмограмме. Существенно было оценить значение каждого типа волн в формировании сейсмограммы. Наиболее надежно это может быть сделано наблюдениями в преломляющем слое, что доступно только ВСП. Большой объем наблюдений в скважинах показал, что в образовании преломленных волн основную роль играет рефракция. Это объясняется тем, что скорости распространения волн в земных слоях не постоянны, а в каждом слое более или менее сильно возрастают с глубиной (такие



среды называются градиентными). Волна, преломляясь, проникает в слой и возвращается к дневной поверхности. Глубина проникания зависит от величины нарастания скорости. Оказалось, что головные волны, и в первую очередь связанные с тонкими слоями, обладают малой энергией и не могут выделяться на сейсмограммах. Проследить такие слои методом преломленных волн невозможно, и разведка тонкослоистых сред целиком «обязана» методу отраженных волн.

Вертикальное сейсмическое профилирование помогает и в определении природы волн. Дело в том, что начальная часть сейсмограммы нередко представляет ребус для интерпретатора. На больших расстояниях наряду с преломленными волнами одновременно могут регистрироваться волны, отразившиеся от сравнительно мелких границ под большими углами. Стратиграфическая привязка волн к границам, определение механизма преломления (дифракция и рефракция) и многое другое — задачи, решаемые вертикальным сейсмическим профилированием в методе преломленных волн.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ И РАЗВЕДОЧНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проектировании сейсморазведочных работ в малоизученном районе геофизикам зачастую приходится выбирать метод для решения кон-

кретной геологической задачи — метод отраженных или преломленных волн. А может быть, **поперечные или обменные** волны «осветят» интересные геологов глубины? Обменными называются волны, образовавшиеся из продольных в процессе распространения. Очень непросто по наземной сейсмограмме понять их природу, выяснить, с какими границами они связаны, определить, какие волны являются полезными и действительно проникли на нужные глубины, а какие (помехи) лишь медленно «прошлись» вдоль земной поверхности. Нередко на это уходит много сил, времени и средств, а иногда даже и не один полевой сезон. ВСП дает в руки разведчиков ключ к оценке разведочных возможностей того или иного метода в конкретной геологической ситуации.

Так, если вести наблюдения методом ВСП в глубокой скважине, которая пересекла неоднородности среды, характерные для данного района, то можно установить, на каких границах образуются волны, и изучить их параметры. Исходя из этого, можно подобрать оптимальные условия возбуждения и методику наблюдений для выделения полезных волн. Такие наблюдения являются по существу рекогносцировочными. Они предшествуют наземным наблюдениям и существенно увеличивают их эффективность.

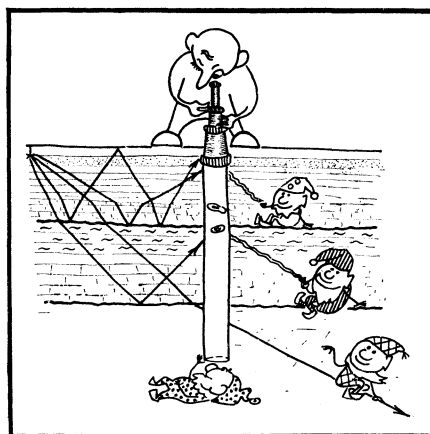
Практическое значение ВСП можно проиллюстрировать на примере сейсморазведочных работ в Саратовском и Волгоградском Поволжье. Здесь в течение более 10 лет выполнялись в больших объемах наземные наблюдения с целью изучения струк-

тур в отложениях, перспективных на нефть и газ. Однако среди огромного количества волн на обычных сейсмограммах выделить полезные не удалось. Создавалось впечатление, что устойчивые отражающие границы в толще терригенного девона отсутствуют. В этих условиях вряд ли имело смысл продолжать исследования отраженными волнами, и тогда привлекли методы обменных волн. Для окончательного решения поставили ВСП. На вертикальных профилях, пройденных в толще девонских отложений, были зарегистрированы отраженные волны от интересных границ. Стало ясно, что в отсутствии полезных волн на сейсмограммах сами границы «не виноваты». В дальнейшем перспективность нефтяных площадей подтвердилась открытием новых месторождений. Что касается метода обменных проходящих волн, то ВСП, выполненное специально для оценки его эффективности, показало неприменимость этого метода в данных условиях и эти работы были прекращены.

ВСП И СЕЙСМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СРЕДЫ

В основе каждого метода интерпретации сейсмических материалов лежат какие-то представления о модели среды*. Реальные среды очень сложны. Чем более детальными мето-

* А. В. Николаев. Сейсмические волны о недрах Земли. «Земля и Вселенная», № 6, 1968 г.



дами изучается среда, тем более сложной она представляется. Высокочастотные (ультразвуковые) измерения показали, что однородные (по данным измерений в сейсмическом диапазоне частот) слои расчленяются на множество тонких пластов, и скоростной разрез представляется очень неоднородным, состоящим из сотен и тысяч отдельных слоев и прослоек. Однако сейсмические волны, распространяясь в земле, сами осредняют эти «неоднородности» и «создают» упрощенную (эффективную) модель. Такая модель, содержащая до 10—15 неоднородностей, соответствует основным закономерностям волнового поля. Однако строгие принципы подобного осреднения пока не ясны. Вертикальное сейсмическое профилирование позволяет как бы «подсмотреть», каким образом волны распространяются, какие неоднородности разреза для них существенны, а каких они вообще «не замечают». Сопоставление волновых полей, образующихся в реальных средах, изученных этим методом, с детальными сведениями о скоростном разрезе является одним из основных направлений в построении теоретических упрощенных эффективных моделей.

ВСП И МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Рассмотренные выше возможности наблюдений в скважинах относились непосредственно к глубинам, доступным наблюдениям (5—6 км). В то же время данный метод имеет большое

значение при истолковании материалов наблюдений по изучению существенно больших глубин. Речь идет о земной коре и строении всей Земли. Интерпретация материалов таких наблюдений тоже сложна и не всегда однозначна. Вертикальное сейсмическое профилирование является основой развития метода моделирования сейсмических волн в реальных средах. Дело в том, что перенос в натуре результатов изучения сейсмических волн на моделях в лабораторных условиях связан с большими трудностями. В то же время, строение верхней части разреза настолько разнообразно, что позволяет моделировать волновые поля, характерные для больших глубин, недоступ-



В скважинах регистрируется значительно большее количество волн, чем на поверхности. Помимо волн, «идущих» вверх, удается записать также волны, распространяющиеся вниз. Практически вся энергия, падающая на дневную поверхность снизу, отражается от нее и возвращается вглубь. Это обстоятельство, конечно, усложняет расшифровку сейсмических записей, полученных в скважинах, но зато позволяет лучше узнать среду

ных наблюдениям. Данные ВСП дают возможность оценить роль различных типов волн в формировании сейсмограммы и более уверенно трактовать волновое поле, связанное с большими глубинами.

Мы рассмотрели некоторые новые возможности экспериментального изучения сейсмических волн. Однако следует помнить, что методу вертикального сейсмического профилирования, как и любому сейсмическому методу, присущи не только достоинства, но и недостатки. Возможности метода ограничены и глубиной исследований (глубина скважин достигает 6—7 км), и площадью, ведь на плане скважина — это все-таки точка. Поэтому ВСП применяется в комплексе с наземными наблюдениями, а также с детальными высокочастотными измерениями скоростей в скважинах — акустическим каротажем. В таком комплексе ВСП позволяет увеличить достоверность результатов интерпретации тысячекилометровой сети наземных наблюдений. Это настолько важно, что в настоящее время ВСП широко применяется в практике производственных партий и научно-исследовательских организаций.

Сейсмические волны — разведчики глубин: прозвучит команда «Огонь!», произойдет взрыв и в руки геофизика попадет очередная сейсмограмма. На какую новую ступень в познании земных глубин она нас поднимет? Ответ на этот вопрос будет зависеть и от вертикального сейсмического профилирования.

Рисунки Т. Янушевич



ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ВОДОХРАНИЛИЩА

Сотрудник Национального управления океанической съемки США сейсмолог Уэнделл В. Мики выполнил интересное исследование. Он анализировал изменения сейсмической активности в районах, где за последние десятилетия были сооружены крупные искусственные водохранилища. Для пяти районов США, в которых уже заполнены или заполняются большие резервуары — Глен-Каньон (штат Аризона), ущелье Фламинг-Гордж (Юта), озеро Мид (Невада), Сан-Луис и Сидар-Спрингс (Калифорния) — были сопоставлены все сведения о подземных толчках. Оказалось, что в районах Глен-Каньона и Фламинг-Горджа со времени заполнения водохранилищ сейсмическая активность уменьшилась, причем особенно значительно на удалении 40 км от плотины. Это опровергает ранее высказанные предположения, согласно которым дополнительная нагрузка, вызванная водной массой, во всех случаях должна приводить к росту сейсмической активности.

Какой статистический материал использовал У. В. Мики? Вблизи водохранилища Фламинг-Гордж, заполненного к ноябрю 1962 года, отмечено: в 1961 году — 701 подземный толчок, в 1962 году — 669, в 1963 году — 665, в 1964 году — 258, в 1965 году — 85, в 1968 году — 215. В области Глен-Каньона, заполнение которого завершилось к маю 1963 года, зарегистрировано в 1961 году 170 землетрясений, в 1962 году — 149, в 1963 году — 173, в 1964 году — 62, в 1965 году — 50 и в 1968 году — 109. Такие изменения невозможно объяснить простой периодичностью.

Интересные выводы можно сделать, наблюдая сейсмическую активность в районе искусственного озера Мид, созданного в результате строи-

тельства плотины Гувер-Дам. В этом озере около 44,1 млрд. тонн воды. По определению Мики, в период с 1939 по 1951 год сейсмическая активность здесь четко следовала за сезонными изменениями наполнения водохранилища: наименьшее количество землетрясений приходилось на март, когда уровень воды был самым низким, а максимум толчков — на июнь и июль, когда вода стояла высоко. Однако этот эффект исчез после сооружения выше озера Мид резервуаров Глен-Каньон и Фламинг-Гордж, которые стали контролировать сток вод в это озеро. Одновременно на 50% сократилась и частота землетрясений вокруг озера Мид.

Водохранилище Сан-Луис расположено в 20 км от крупной системы разломов в земной коре. Вероятно, поэтому нагрузка водной массы не повлияла здесь на степень сейсмической активности. Строительство крупной плотины Сидар-Спрингс вблизи разлома Сан-Андреас еще в начальной стадии, и тщательное наблюдение за сейсмической активностью до заполнения водохранилища будет способствовать дальнейшим исследованиям этого эффекта.

«Science News», 99, 22, 1971.

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЦА

Э. Чапп, руководитель исследовательской группы университета в Нью-Гэмпшире (США), выступая в Центре НАСА (Гринбелт, штат Мэриленд, США) на симпозиуме по высоким энергиям Солнца, заявил, что получено непосредственное доказательство ядерных реакций на поверхности Солнца. Материалы для этого сообщения переданы Орбитальной солнечной обсерваторией OSO-7. Во время солнечных вспы-

шек 4 и 7 августа 1972 года OSO-7 обнаружила гамма-излучение с энергиями 511 кэВ и 2,2 МэВ. Ученые надеются, что исследование солнечных излучений высоких энергий позволит производить энергию на Земле с помощью управляемых термоядерных реакций, не загрязняя окружающую среду.

«Aerospace Daily», 57, 22, 1972.

МЕХАНИЗМ ПОВТОРНЫХ ТОЛЧКОВ

Землетрясения с залегающим глубоко фокусом обычно сопровождаются серией повторных толчков — афтершоков. Частота афтершоков снижается с нескольких тысяч в первые сутки после землетрясения примерно до десяти на сотые сутки. Почему это происходит?

А. Нур (Станфордский университет штата Калифорния) и Дж. Р. Букер (Университет штата Вашингтон) предлагают гипотезу, объясняющую механизм возникновения афтершоков. С землетрясением связано не только сжатие и расширение пород, но также и сдвиг. Если в породах горных пород содержатся подземные воды, в них происходит смена давлений. Наблюдения на нефтеносных месторождениях Ренджли в штате Колорадо показали, что изменения давлений в пористых породах могут приводить к повторным сотрясениям.

А. Нур и Дж. Р. Букер предлагают разработанную ими модель, которая объясняет повторные толчки сменой давления в пористых породах, вызванной первичным толчком собственно землетрясения. Согласно их гипотезе, перераспределение давлений в породах постепенно уменьшает прочность пород и может привести к разлому в земной коре.

«Science», February 25, 1972.



Современная Служба погоды

БЫСТРЕЕ — ЗНАЧИТ ЛУЧШЕ

В практической деятельности Службы погоды важная роль всегда отводится технологии сбора и обработки данных, а также научным методам прогнозирования. Едва ли не с момента своего зарождения Служба погоды требовала такой организации, при которой производственные операции выполнялись бы быстрее, еще быстрее, как можно быстрее. Это вполне понятно, так как прогнозы погоды и гидрологических явлений, предупреждения об опасных, штормовых ситуациях должны выпускаться в свет своевременно и заблаговременно доходить до населения, иначе прогнозы и предупреждения станут просто бесполезными. В свою очередь, любые предсказания основываются на некоторой исходной информации, на результатах разнообразных наблюдений, которые должны быть оперативно собраны. Отсюда ясно, что Служба погоды могла появиться лишь после установления регулярных телеграфных связей. И в дальнейшем прогресс техники связи решительным образом будет сказываться на успехах Службы.

Объем информации, которую приходится собирать, перерабатывать и которой надо обмениваться с другими метеорологическими центрами, возрастает довольно быстро. Это и не удивительно, так как выпускаются новые виды прогнозов. Формируются новые отрасли народного хозяйства, требующие обеспечения метеорологическим прогнозом как на территории нашей страны, так и далеко за ее пределами. Примерами могут служить современная транспортная

В Гидрометцентр СССР поступают многочисленные данные о состоянии атмосферы и гидросферы. Здесь автоматизируется обработка информации для оперативного и точного предсказания погоды.

авиация, покрывающая огромные расстояния за считанные часы, морской торговый и рыболовный флот, работающий сейчас во всех районах Мирового океана. Жизнь заставляет непрерывно совершенствовать системы связи между метеорологическими центрами различных стран.

Главные каналы связи Всемирной службы погоды опоясывают земной шар, соединяя мировые метеорологические центры в Москве, Вашингтоне и Мельбурне. Ответвления протянулись в крупные региональные метеорологические центры (Брэкнелл, Стокгольм, Оффенбах, Новосибирск, Хабаровск, Токио, Ташкент, Нью-Дели и др.) и в региональные центры связи (Париж, Прага, Вена, София, Тегеран, Бангкок), а также в национальные метеорологические центры. Пропускная способность каналов связи непрерывно растет. Устанавливается современная аппаратура, позволяющая сократить время обмена информацией почти в 50 раз.

Скоро искусственные спутники Земли станут «опрашивать» автоматические гидрометеорологические станции, находящиеся в удаленных и труднодоступных районах, и передавать собранную информацию метеорологическим центрам для последующей передачи по глобальной цепи обмена. Спутники будут использо-

ваться для ретрансляции метеорологических сводок и для факсимильной передачи карт погоды, то есть для передачи полного изображения карт.

Все это несравнимо с организацией Службы погоды в 20-х годах. Некоторые прогнозисты помнят несложную технологию Службы тех лет: каждую телеграмму о состоянии погоды, поступающую с метеорологической станции на телеграф, доставлял в бюро прогнозов курьер. Сводки метеорологических прогнозов передавались из некоторых центров по радио, шли, как говорится, с телеграфного ключа. Нечего было и думать о сборе данных с большой территории за несколько десятков минут после наблюдений, как это делается сейчас.

ЭВМ И СЛУЖБА ПОГОДЫ

Современные центры, или узлы связи, Службы погоды оснащены сложными комплексами аппаратуры. Они включают многоканальную телеграфную, радиотелеграфную, факсимильную аппаратуру связи и высокоскоростную аппаратуру передачи данных.

Центры связи ведут закодированные передачи, распространяют обработанные материалы, проводят обмен данными между ЭВМ и кроме того осуществляют контроль за качеством передач автоматизированными средствами обнаружения и исправления ошибок. И везде необходимо исключить ручной труд.

Сейчас в Гидрометцентре СССР, выполняющем функции мирового метеорологического центра, вводится следующая технологическая линия.



В узел связи Гидрометцентра СССР (Главный радиометеорологический центр) по каналам связи почти непрерывно поступает информация. Здесь — и данные наблюдений метеорологических станций, и результаты вертикального зондирования атмосферы, и гидрологические или агрометеорологические сведения, и сводки наблюдений с кораблей и рейсовых самолетов (сознательно исключим пока спутниковые наблюдения и данные метеорологических радиолокаторов). Для «компактности» все эти сведения передаются в закодированном буквенно-цифровом виде, причем коды, естественно, разные. Как происходит дальнейшая обработка?

Раньше информация поступала на телетайпы и выдавалась в виде рулонной ленты (впрочем, это делается во многих местах и сейчас). Дежурные сортировали полученный материал по видам информации, контролировали его, комплектовали сводки для дальнейшего обмена с другими метеорологическими центрами. Разрезанные телетайпные ленты пересылались в отделы Гидрометцентра СССР для расшифровки, составления карт погоды, графиков, таблиц и перфорирования для ввода в ЭВМ, на которых рассчитывались прогнозы. Все промежуточные ручные операции требовали и много времени и большого штата сотрудников для ускорения всего процесса обработки.

Теперь поступающая информация автоматически вводится в память ЭВМ, специально предназначенной для предварительной обработки. Промежуточные операции также возложены на ЭВМ: она сортирует ин-

формацию и комплектует соответствующие сводки, контролирует правильность содержания каждой телеграммы и исправляет ошибки, а если не может исправить (из-за неполноты программы контроля), то отбраковывает и исключает телеграмму из сводки (эту телеграмму можно вывести на экран телевизионной трубки и обдумать ее содержание отдельно). Скомплектованные сводки, в соответствии с программой, направляются на ЭВМ для передачи в другие центры. Одновременно ЭВМ узла связи перебрасывает сводки на другие электронные устройства для дальнейшей обработки. Прежде всего, сводки пересылаются в память тех машин, которые должны рассчитывать прогнозы будущей синоптической ситуации и погоды (здесь используются главным образом данные аэрологического зондирования и частично приземные метеорологические наблюдения). Кроме того, сводки идут в устройства, автоматически вычерчивающие карты погоды.

Полученные таким образом карты погоды мы называем диагностическими, так как на них представлено состояние погоды на определенный момент времени. Эти карты нужны прогнозистам Гидрометцентра СССР для дальнейшего анализа и использования при составлении прогнозов. Но они нужны также и прогнозистам, работающим в местных бюро погоды, гидрометбюро и на авиаметеорологических станциях. Диагностические карты лет 7—10 тому назад составлялись на местах. Теперь же из Гидрометцентра СССР готовые карты (в большинстве случаев с законченным анализом) факсимильной ап-

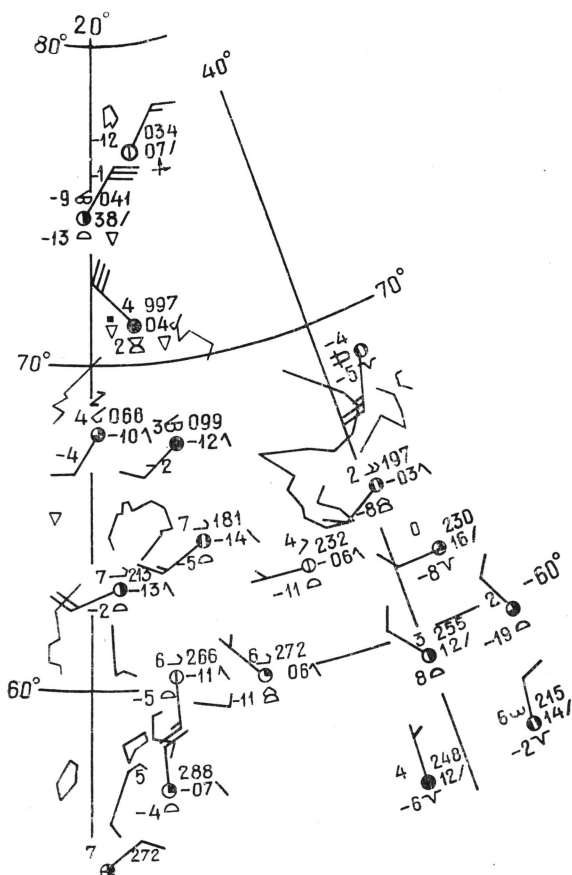
паратурой передаются по проводам или радио на места. Такая централизация упрощает и ускоряет работу.

Кроме Гидрометцентра СССР факсимильные передачи ведут региональные метеорологические центры в Новосибирске, Хабаровске и Ташкенте, каждый по своей зоне.

Факсимильные передачи очень полезны и удобны для морского флота. Суда, которые находятся в различных районах Мирового океана, всегда могут связаться с региональным центром, откуда передаются необходимые факсимильные карты. Это весьма упрощает обеспечение морских судов метеорологическим прогнозом.

МАШИНА ВЫДАЕТ ПРОГНОЗ

Проследим теперь за судьбою сводок, поступающих из узла связи на ЭВМ. Прогнозы будущего развития крупномасштабных атмосферных процессов рассчитываются заранее на различные сроки (12, 24 и 36 часов, на 2-3 суток) и по различным территориям. Результаты расчетов используются для построения карт будущего распределения давления на нескольких уровнях (от уровня моря до тропопаузы, или выше), карт вертикальных движений воздуха, очень важных для прогнозов, карт будущего распределения осадков, ветров, траекторий воздушных частиц и других. В каждом случае машина отбирает из поступивших сводок те данные, которые нужны для конкретного расчета, производит этот расчет и выдает полученный результат на расчерчивающее устройство. Готовая прогностическая карта становится достоянием дежурного прогнозиста и



факсимильно передается в различные пункты.

Есть и другой путь распространения прогностических расчетов. В числовой форме они возвращаются в

Карта погоды над Атлантикой и Западной Европой, выполненная автоматическим расчерчивающим устройством

Специальное расчерчивающее устройство для автоматического составления карт погоды. Работой устройства управляет электронно-вычислительная машина по соответствующей программе. Устройство может вычертить изолинии метеорологических полей (давления, температуры, осадков и другие), строить различные графики

узел связи, а отсюда с большой скоростью по линиям связи передаются на места, где автоматически вводятся в расчерчивающие устройства и воспроизводятся в виде карт. Этот метод требует значительно меньше времени, чем прием факсимильных карт, и поэтому будет широко внедряться.

Современная техника предлагает и другие возможности. Дело в том, что в течение суток и Гидрометцентр, и региональные метеорологические центры каждый в отдельности изготавливает больше сотни различных диагностических и прогностических карт. Не во всех случаях и не для каждого бюро погоды бывает нужен полный набор этих карт. Если формы атмосферной циркуляции относительно просты и каких-либо быстрых пре-

образований не предвидится, нет необходимости в большом количестве карт, чтобы проанализировать развитие погоды на нескольких уровнях атмосферы. Прогнозист, в зависимости от поставленной цели, выберет лишь те карты, которые ему нужны для решения конкретной прогностической задачи. Но факсимильные карты идут по строго установленной программе, и чтобы просмотреть их, необходимо предварительно все принять, затратив на это определенное количество времени. Задача может быть решена иначе: результаты расчетов выводятся из ЭВМ на специальный пульт, где на телевизионном экране они в виде прогностических карт могут быть просмотрены одна за другой. При просмотре отбираются карты, которые следует изготовить



на расчерчивающем устройстве. Такая методика существенно экономит время.

ЭВМ ПРИНИМАЕТ СИГНАЛЫ СПУТНИКА

Метеорологические спутники передают на Землю разнообразные данные: телевизионные изображения облаков и земной поверхности (эти же изображения в инфракрасных лучах); результаты измерений интенсивности уходящего излучения в узких участках инфракрасного спектра и других актинометрических измерений; сведения о микроволновом тепловом радиоизлучении. Любые спутниковые наблюдения — это электрические импульсы различной интенсивности, число которых за один виток вокруг Земли определяется миллионами единиц. Принять и обработать эту информацию, чтобы получить снимки облачного покрова, вертикальные профили температуры, границы залегания снежного и ледяного покрова, радиационный баланс системы Земля — атмосфера невозможно без специальных устройств и без использования ЭВМ.

Для примера рассмотрим обработку снимков облачного покрова. Телевизионное изображение, как известно, разворачивается по строкам, а каждая строка состоит из элементов. Элементу на телевизионном снимке, в зависимости от разрешающей способности приемной камеры, соответствует на Земле определенная площадь. Разрешающая способность установок на советских метеорологических спутниках, имеющих высоту орбиты около 600 км, равна 1,25 км (в надири), а при высоте орбиты

900 км — 1,7 км. У американских спутников типа ЭССА с высотой орбиты 1450 км разрешающая способность в надири составляет 3,5 км.

Полный телевизионный кадр может быть сфотографирован на приемной станции. Монтаж следующих друг за другом кадров даст изображение Земли в полосе вдоль орбиты. Однако стыковка кадров представляет известные трудности из-за пространственных искажений снимков. Каждый кадр должен быть «привязан» к местности на основании орбитальных данных (по координатам спутника в каждый момент времени). Необходимо также трансформировать снимки в соответствии с проекциями, принятыми для метеорологических карт, и нанести на них градусную сетку для удобства пользования всей мозаикой снимков. Эти трудоемкие и долговременные операции не соответствуют общему темпу работы в Службе погоды. На помощь приходит быстросейсмическая и обладающая большим объемом памяти ЭВМ. Весь поток информации, принимаемый от спутника, вводится в память машины одновременно с орбитальными данными. Каждому элементу разложения ЭВМ придает координаты точки на земной поверхности, которой он соответствует. Выводное устройство, превращающее каждый элемент разложения в точку на фотографии, помещает эту точку в соответствующие ей координаты. Так устраняются всякие трудности со стыковкой. Появляется возможность трансформировать снимки для любой проекции карты и корректировать изображение. Обработка идет очень быстро.

Спутниковая информация прочно вошла в методы прогнозирования погоды, и вполне понятно, что ее оперативной обработке уделяется много внимания. Совершенствуются методы спутниковых измерений и методы обработки этой информации.

РАДАРЫ — МЕТЕОРОЛОГИИ

Метеорологические радиолокаторы оценивают состояние погоды в круге радиусом 150—200 км. Они «видят» грозы, определяют присутствие града в облаках, отмечают ливневые облака, фиксируют слоистые облака и обложные осадки, оценивают вертикальную мощность облаков. Локалатор позволяет следить за каждым отдельным ливнем, за линией гроз и ливней, выделять наиболее важные очаги во фронтальной облачности, видимой со спутников. Менее детальная, обобщенная информация, которая содержится на картах погоды и спутниковых изображениях облачности, может быть сопоставлена с данными радиолокатора. Радарные сведения особенно ценны для штормовых оповещений за 1 или 2 часа до наступления ливня, грозы и сопутствующего им шквала. Непрерывный круговой обзор неба позволяет проследить динамику каждого такого явления: его возникновения, направление и скорость перемещения, исчезновение.

СЛУЖБА ПОГОДЫ И ЕЕ НУЖДЫ

До 3 млн. операций в секунду выполняют сейчас ЭВМ, применяемые в Службе погоды. Но эти скорости уже не удовлетворяют быстро растущим потребностям. Для того чтобы к заданному моменту времени был рас-



считан прогноз по современным теоретическим моделям атмосферы, требуются машины, способные произвести 10—15 млн. операций в секунду. Видимо, трудно найти такую отрасль науки, где неотложно требуются столь высокопроизводительные ЭВМ, как в прогнозировании погоды.

Автоматизация обработки метеорологической информации потребовала также и автоматизации всех видов наблюдений. Автоматизированные наблюдения выполняются, на-

капливаются и обрабатываются быстрее, чем неавтоматизированные. В ближайшем будущем и процесс наблюдений потребует централизованного управления. Ведь в разных местах и в разное время атмосферная циркуляция различна. В простых ситуациях расчет на ЭВМ дает хорошие прогностические результаты при стандартной системе наблюдений. Если ситуация усложнилась, может срочно потребоваться дополнительная информация не только с основной, но и с дополнительной сети станций, а также от радаров и спутников по некоторым областям земного шара. Электронная машина, производящая прогностические расчеты, должна опре-

делять, какие дополнительные наблюдения нужны для данного прогноза, и дать команду местным центрам на выполнение ее запросов. Быстро ответить могут только автоматические станции.

Говоря о современной технике Службы погоды, мы касались только метеорологической стороны работы—наибольшей по объему. Но нужно иметь в виду, что гидрологические прогнозы строятся, в общем, на тех же принципах. Разумеется, здесь есть и свои особенности, которые требуют отдельного рассмотрения.

В этой статье мы стремились показать, как глубоко научно-техническая революция отразилась на работе Службы погоды, какие технические достижения можно отметить в ней к 50-летию юбилею СССР. Техника Службы погоды все время меняется, и особенно быстро — в современную эпоху научно-технического прогресса. То, о чем здесь говорилось, уже осуществляется и будет широко внедряться в течение ближайших 5—7 лет. Но за это время уйдет вперед и наука, разовьются новые методы прогнозирования и предъявят к технологии новые требования, аналогично тому, как сейчас понадобились мощные ЭВМ со скоростями счета в 10 млн. операций в секунду. Надо думать, что в предстоящие 15—20 лет потребуются ЭВМ, способные работать со скоростями до 100 млн. операций в секунду и, может быть, до полумиллиарда. Предсказание погоды станет несравненно точнее, и, что особенно важно, заблаговременность, с которой рассчитывается прогноз, увеличится на несколько недель.



Кандидат физико-математических наук
К. П. ВАСИЛЬЕВ

Что такое ОГСОС?

Многие процессы, наблюдающиеся в морях и океанах, происходят под влиянием взаимодействия океана и атмосферы над ним. Изменения метеорологических условий оказывают определенное воздействие на физические явления в толще океанических вод, что порождает в свою очередь колебания атмосферных процессов. Устанавливается непрерывная взаимосвязь и взаимообусловленность атмосферы и гидросферы.

Изучение физических явлений в Мировом океане — это сложный процесс перехода от познания внешней стороны к познанию внутренней закономерности наблюдаемых явлений и в конечном итоге к их предсказанию.

Познание начинается с наблюдений. Существующая в настоящее время система океанографических и метеорологических наблюдений в море не может удовлетворить растущие потребности науки об океане и атмосфере, равно как и потребности в оперативной информации о текущем или ожидаемом состоянии океана и атмосферы. Действительно, в настоящее время массовые данные о погоде и о состоянии моря регулярно поступают от транспортных и промысловых судов. Естественно, наблюдения на них могут проводиться только по весьма ограниченной стандартной программе на традиционных морских путях и не охватывают громадных пространств океанов и морей, лежащих в стороне от этих трасс. Точность получаемых при этом данных невелика из-за несовершенства методики и приборов.

Второй источник необходимой гидрометеорологической информации с

Создается глобальная система станций в Мировом океане. Она поможет ликвидировать «белые пятна» на картах погоды и состояния моря.

открытых частей морей и океанов — экспедиционные суда. Но наблюдения на них проводятся неодновременно и в различных районах Мирового океана.

В последние годы развиваются новые методы производства непрерывных, или почти непрерывных, измерений океанографических параметров автоматическими устройствами, установленными на буйах, свайных основаниях и платформах, а также на самолетах и искусственных спутниках Земли. Правда, необходимая аппаратура еще не выпускается серийно, к тому же она обеспечивает наблюдение лишь за небольшим количеством параметров.

Отрывочные, ограниченные во времени и пространстве наблюдения не позволяют существенно улучшить наши знания о процессах, происходящих в океане. Поэтому разработка и совершенствование методов морских прогнозов и расчетов в большинстве случаев сводятся к построению упрощенных гидродинамических моделей, весьма далеких от реальной действительности, или к выявлению недостаточно обоснованных статистических зависимостей.

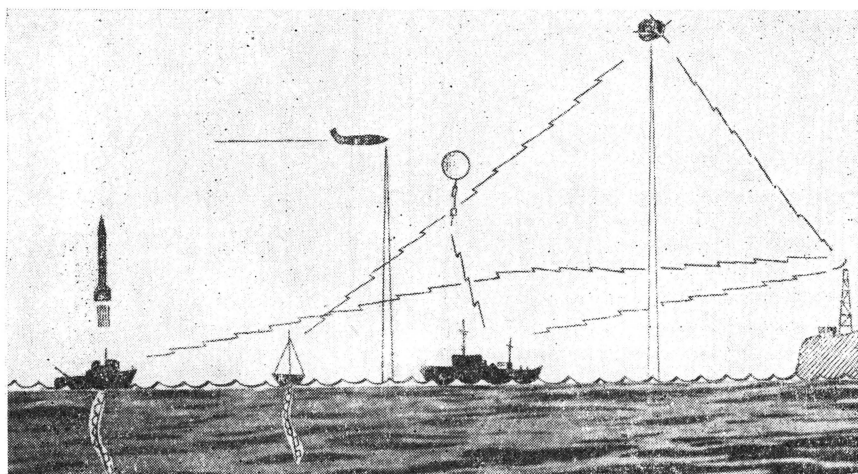
Отсюда следует, что общая проблема исследований взаимодействия океана и атмосферы и вытекающая из нее частная задача — разработка надежных методов морских прогнозов — могут быть решены лишь при

создании системы постоянного синхронного наблюдения за гидрометеорологическими явлениями по всей акватории Мирового океана, с использованием всех имеющихся средств.

Всемирная метеорологическая организация и Межправительственная океанографическая комиссия приступили к осуществлению плана и программы Всемирной службы погоды*. Программа предусматривает, в частности, что океанографические наблюдения будут проводиться Объединенной глобальной системой океанических станций (ОГСОС). Объединенная система включает систему наблюдений (сеть наблюдательных станций и другие средства), сбора, обработки и хранения данных, систему связи (средства, обеспечивающие сбор и обмен информацией).

В ОГСОС входят плавучие якорные автоматические гидрометеостанции (буи), суда погоды, автоматические или обслуживаемые персоналом гидрометеостанции на закоренных платформах, устанавливаемых в открытом море, гидрометеостанции на плавучих маяках или вышках в прибрежных районах, а также береговые станции. К глобальной системе относятся и подвижные станции — экспедиционные суда, гидрометеорологические станции на торговых и промысловых судах, плавучие дрейфующие автоматические буи, дрейфующие автоматические гидрометеостанции на ледяных полях, специаль-

* А. С. Монин. Глобальная атмосферная исследовательская программа. «Земля и Вселенная», № 1, 1969 г.



но оборудованные самолеты, искусственные спутники Земли.

Станции, фиксированные в заданном пункте, обеспечивают синхронность и постоянство наблюдений за гидрометеорологическими явлениями по всей акватории Мирового океана, а подвижные наблюдательные станции дадут важную дополнительную информацию о тех районах океана, которые лежат между фиксированными станциями.

Для различных типов станций, входящих в глобальную систему, устанавливаются различные по объему программы наблюдений с единым минимумом работ. Этот минимум предусматривает измерение температуры воздуха и воды, атмосферного давления, ветра, солнечной радиации, температуры точки росы, волнения, солёности, течений. Для каждого типа гидрометеостанции программа может включать дополнительные измерения.

Большое значение будут иметь плавучие якорные автоматические буи, а также искусственные спутники Земли. Спутники получают регулярную гидрометеорологическую информацию с обширных районов Мирового океана.

Такая организация сбора информации поможет расширить существующие представления об океане и атмосфере

В глобальную систему сбора, обработки и хранения данных входят мировые, региональные и национальные метеорологические центры*.

Глобальная система телесвязи обеспечивает бесперебойное управление автоматическими средствами наблюдения, сбор и передачу гидрометеорологической информации от наблюдательных станций в центры сбора и обработки данных и обмен информацией между ними.

Создание Объединенной глобальной системы океанических станций — хороший пример международного сотрудничества ученых. ОГСОС уже воплощается в реальность. Советский Союз принимает активное участие в этой системе. Практически все ведомства нашей страны, деятельность которых связана с морем, обеспечивают становление ОГСОС. Возглавляет эту работу Гидрометеорологическая служба СССР, которая обеспечивает народное хозяйство сведениями о текущем и будущем состоянии атмосферы и океана.

Работа Объединенной глобальной системы океанических станций повысит эффективность службы прогнозов, а также расширит наши познания океана и атмосферы.

* В. А. Бугаев. Современная Служба погоды. Статья опубликована в этом номере журнала. (Прим. ред.)



Как вращается верхняя атмосфера?

Недавно установлено, что средняя скорость вращения верхних слоев атмосферы на высотах 200—400 км существенно превышает скорость собственного вращения Земли. Преподаватель Хьюстонского университета (штат Техас) доктор Д. Х. Уэйнстейн и сотрудник исследовательской лаборатории компании «Сьюпириор ойл» Дж. Кини видят причину в так называемом эффекте Скотта.

Эффект Скотта заключается в следующем. Представим два цилиндра: один из них — меньших размеров — находится во взвешенном состоянии внутри большого цилиндра, заполненного газом. Давление газа в большом цилиндре незначительное, температура стенок цилиндров — разная. Если такую модель поместить в слабое магнитное поле, «внутренний» цилиндр начнет вращаться. Интенсивность и направление этого вращения зависят от разницы в температурах, напряженности магнитного поля и природы газа.

По мнению техасских исследователей, в верхней атмосфере, где есть температурный градиент (с высотой температура растет), низкое давление и слабое магнитное поле, возникает аналогичный механизм. Стало быть, эффект Скотта должен приводить к движению воздушных масс с запада на восток, причем максимальная скорость будет наблюдаться в дневное время. Это соответствует наблюдениям.

«Nature», May 14, 1971.



«Марс-3» исследует плазму

Межпланетные автоматические станции, искусственные спутники какой-либо планеты открывают широкие перспективы в исследованиях солнечной плазмы. Если удастся проникнуть в механизм ускорения частиц солнечного ветра — потоков разреженной плазмы, то можно будет понять, как происходит разогрев солнечной короны до очень высоких температур. Это весьма важная проблема физики Солнца.

Вариации солнечного ветра вызывают в околоземном космическом пространстве магнитные бури, полярные сияния и ионосферные возмущения.

Межпланетная среда — это естественная лаборатория, в которой можно изучать поведение сильно разреженной плазмы и проверить теоретические построения плазменных явлений. Исследования межпланетной среды служат прекрасным дополнением к экспериментам. Особенно тщательно изучаются бесстолкновительные ударные волны. Бесстолкновительными они называются потому, что длина свободного пробега частиц между взаимными столкновениями много больше размеров системы, в которой происходит этот процесс.

В эксперименте на межпланетной автоматической станции «Марс-3» ученых больше всего интересовал вопрос: как обтекает солнечный ветер планету Марс?

ПЛАЗМА ВСТРЕЧАЕТ ПРЕПЯТСТВИЕ

Что происходит, когда сверхзвуковой поток плазмы встречает на своем пути различные тела Солнечной си-

Выведенные на ареоцентрическую орбиту в год великого противостояния искусственные спутники Марса передали интересные сведения о верхней атмосфере этой планеты.

стемы — планеты, их спутники и кометы? Если препятствие не обладает достаточно высокой электропроводностью, если у него нет собственного магнитного поля, то частицы солнечного ветра ударяются о поверхность тела. При ударе ионы нейтрализуются и планета образует полость в потоке плазмы (поперечное сечение полости приблизительно равно размеру тела). Возникает след, который постепенно заполняется частицами из соседних участков. Здесь формируется возмущенное магнитное поле и возможно образование ударной волны. Такой процесс происходит и вблизи Луны.

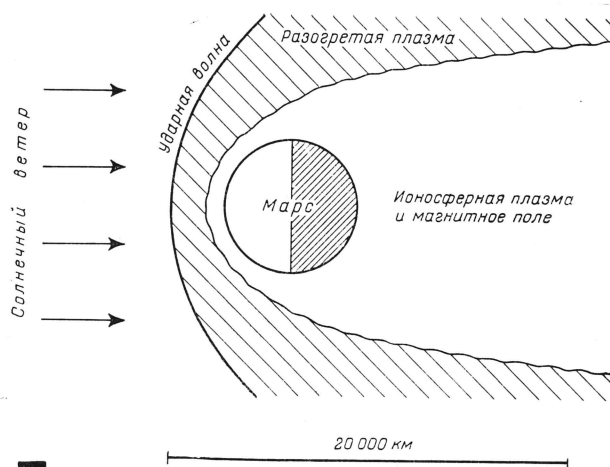
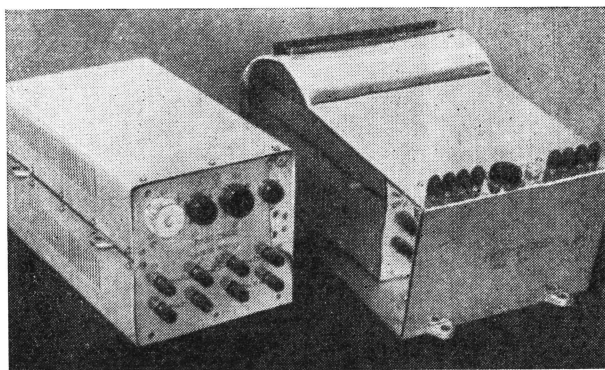
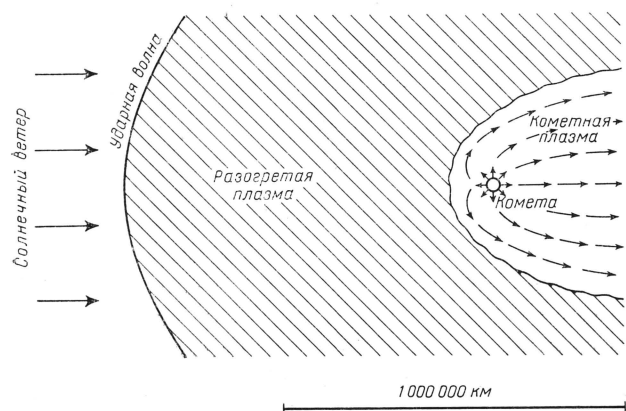
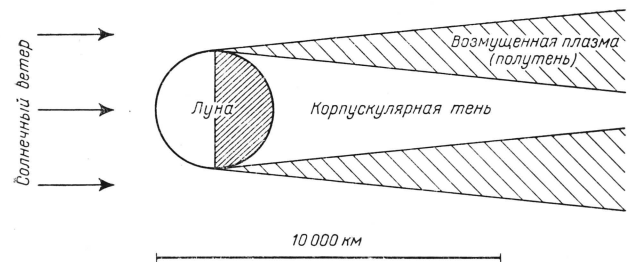
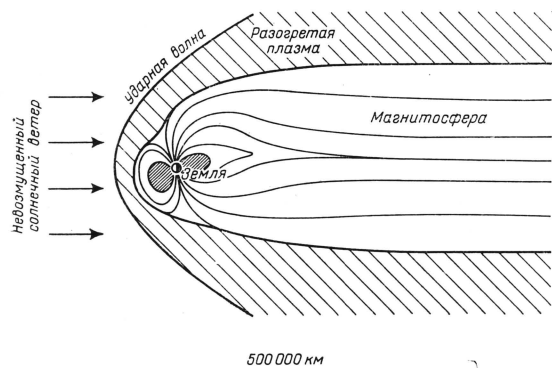
Существует второй вариант обтекания препятствия солнечным ветром, когда у этого препятствия имеется собственное магнитное поле. Набегающий поток плазмы поджигает внешнее, слабое магнитное поле. Частицы набегающего потока отклоняются от своей первоначальной траектории, и поток «вынужден» огибать препятствие. Параметры плазмы и магнитного поля в зоне обтекания изменяются, что приводит к образованию ударной волны, отошедшей от препятствия. Волна приобретает форму гиперболоида. Такой процесс идет возле Земли. Солнечный ветер сильно изменяет конфигурацию

внешних областей магнитного поля планеты. Силовые линии магнитного поля, выходящие из полярных областей дипольного поля, образуют очень длинный магнитный шлейф. Сама магнитосфера представляет чрезвычайно сложное образование с областями накопления горячей плазмы (воронки) и очень энергичных частиц (радиационный пояс).

Магнитосфера Земли сравнительно хорошо изучена. Структура ее шлейфа однородна, по крайней мере, до расстояний 80 радиусов Земли (R_E). Правда, неясна длина магнитного шлейфа Земли, не известно, все ли силовые линии, выходящие из северной полярной шапки, служат продолжением силовых линий, приходящих в южную полярную шапку.

Приборы на американских межпланетных станциях «Пионер-7» и «Пионер-8» регистрировали сильные возмущения плазмы и магнитного поля на расстояниях от Земли около 1000 R_E и 500 R_E . Американские исследователи полагают, что эти возмущения связаны с пересечением волокон, на которые расщепляется геомагнитный хвост, и с образованием возмущенной плазмы, сносимой солнечным ветром из области обтекания магнитосферы Земли.

Третий вариант взаимодействия солнечного ветра с препятствием — это образование плазменного кометного хвоста, вытянутого от Солнца. Хвост состоит из ионов, возникших при ионизации газов из ядер кометы. Комета очень интенсивно выделяет газ, а ее магнитное поле, по-видимому, мало, чтобы как-то повлиять на поток солнечной плазмы. В результате солнечный ветер «натыка-



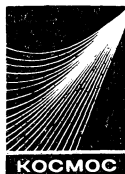
При встрече солнечного ветра с геомагнитосферой возникает зона возмущенной плазмы

Когда поток плазмы обтекает Луну, образуется область возмущенной плазмы (полутень) и корпускулярная тень

Так солнечный ветер взаимодействует с кометой

На станции «Марс-3» установили прибор для изучения частиц. На снимке справа — блок датчиков, слева — блок электроники, который усиливал сигналы и управлял прибором

При встрече солнечного ветра с Марсом образуется область ионосферной плазмы и магнитного поля



ется» на газовое препятствие. Наблюдения показывают, что при этом активно ионизируется газовое вещество кометы. Аналогичные явления получались и в лаборатории, когда поток плазмы сталкивался с нейтральным газом. В присутствии магнитного поля ионизация нейтрального газа идет со скоростью, намного превышающей скорость ионизации при газокинетических столкновениях потока ионов с нейтральными частицами. В результате этого процесса, а также под влиянием солнечного ультрафиолетового излучения в голове кометы появляются тяжелые ионы, которые увлекаются потоком солнечного ветра. Поток замедляется, и впереди ядра кометы должна сформироваться ударная волна. Образовавшаяся плазма сносится вниз потоком. Так у кометы возникает шлейф.

Наконец, имеется еще один тип взаимодействия солнечного ветра с препятствием. Это случай, когда солнечный ветер обтекает планету, не обладающую собственным магнитным полем, но имеющую развитую атмосферу (и, следовательно, ионосферу). В проводящей ионосфере создается ток, магнитное поле которого может образовать псевдомагнитосферу. Солнечному ветру будет препятствовать газовое давление в ионосфере и давление магнитного поля токов ионосферы. Граница, на которой останавливается поток солнечного ветра в лобовой точке, должна быть ближе к планете, чем внешние слои нейтральной верхней атмосферы планеты. Логично предположить, что в этом случае проявляются те же эффекты взаимодействия солнечного ветра с нейтральным га-

зом, которые доминируют при обтекании комет.

Итак, конкретный механизм обтекания планеты с атмосферой без значительного магнитного поля определяется весьма сложным сочетанием изменяющихся параметров верхней атмосферы, ионосферы и солнечного ветра с его магнитным полем. Исследователи вправе ожидать возникновения псевдомагнитосферы с более или менее четкой границей между потоком солнечного ветра и препятствием, а также формирования отошедшей ударной волны. Картина напоминает обтекание геомагнитного диполя. Но между солнечным ветром и ионосферой планеты вероятно образование диффузной переходной области. Не исключается усложнение процесса слабым собственным магнитным полем планеты и высокой проводимостью ее ядра. Переменный характер воздействия солнечного ветра, а также изменяющаяся ориентация его магнитного поля могут нарушать стационарность картины, наблюдающейся при обтекании планеты солнечным ветром. После изменения ориентации внешнего магнитного поля старая псевдомагнитосфера исчезает и образуется новая — с другой направленностью магнитного поля.

В любом случае отсутствие сильного экранирующего магнитного поля стимулирует значительный газовый обмен между солнечным ветром и верхней атмосферой планеты. Ионы солнечного ветра, нейтрализовавшись, уже не задерживаются электромагнитным полем. Этот поток нейтральных частиц вторгается в верхнюю атмосферу и, возможно,

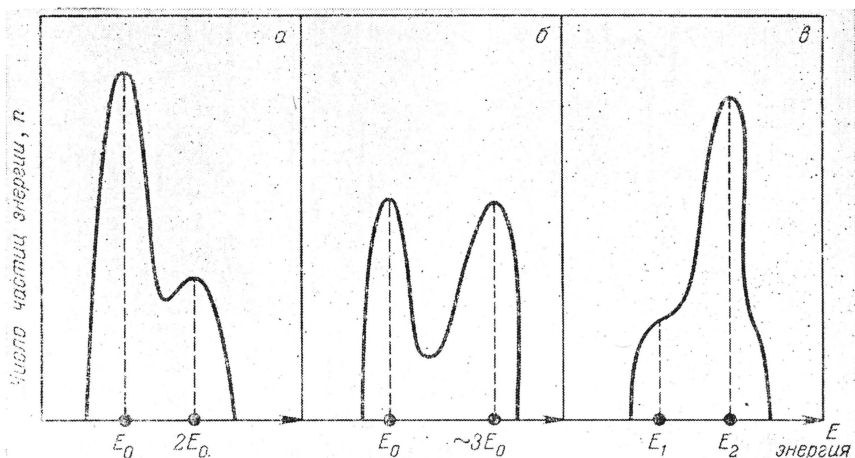
влияет на газовый состав атмосферы.

Таким образом, исследуя взаимодействие солнечного ветра с атмосферами планет, ученые получают сведения не только о структуре зоны обтекания и процессах в ней происходящих, но также и о верхней атмосфере планеты.

ПЛАЗМЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НА ОРБИТЕ МАРСА

Эксперимент, поставленный на автоматических межпланетных станциях «Марс-2» и «Марс-3», заключался в измерении вариаций энергетического спектра ионной компоненты плазмы вдоль трассы станции и на орбите искусственного спутника Марса. Измерение спектра ионной компоненты служит удобным средством для изучения некоторых характеристик потока плазмы. Так как ионы во много раз тяжелее электронов, то при температуре плазмы, наблюдаемой в межпланетной среде (10^4 — 10^6 °K), энергия направленного движения ионов значительно превосходит энергию их теплового движения. Поэтому энергетический спектр ионов солнечного ветра имеет четко выраженный основной максимум, положение которого на энергетической шкале соответствует скорости потока плазмы. Ширина этого максимума позволяет судить о температуре ионов.

В межпланетной среде общий характер спектра ионов сохраняется, то есть наблюдаются два максимума с фиксированным положением и преобладанием протонной концентрации над концентрацией α -частиц (приблизительно в 20 раз). Однако меняет-



ся скорость потока плазмы (от 260 до 850 км/сек), температура протонов и α -частиц, их относительная концентрация и некоторые иные параметры. Эти величины зависят от условий разгона плазмы в солнечной короне, от взаимодействия с другими потоками плазмы, от степени ее разогрева и охлаждения.

В течение почти всего полугодового перелета автоматической межпланетной станции «Марс-3» регистрировались спектры ионов солнечного ветра с одним основным и одним второстепенным максимумами. Правда, однажды наблюдались иные виды спектров. Их отличия состояли в относительном положении и величине максимумов в энергетическом спектре. Так, второй максимум иногда соответствовал втрое большей энергии, чем первый. Наблюдалось

относительное перемещение максимумов. Поток частиц во втором максимуме иногда превышал поток частиц в первом. Эти аномальные по отношению к солнечному ветру энергетические спектры ионов, по-видимому, обусловлены образованием возмущенной плазмы при обтекании магнитосферы Земли солнечным ветром. Стало быть, есть основания считать, что плазменный след Земли простирается в межпланетной среде весьма далеко.

Наблюдения на межпланетной автоматической станции «Марс-3» выявили существование внутренней структуры в плазменном следе Земли, а также характерные колебания этой структуры.

Станции «Марс-2» и «Марс-3» в течение многих месяцев вели наблюдения на ареоцентрических орбитах. Орбита спутника «Марс-3» сильно вытянута, поэтому удалось исследовать плазму и магнитные поля на различных угловых положениях относительно линии Марс — Солнце, которую приближенно можно принять за направление набегающего потока. Уже на первых витках вблизи Марса была обнаружена зона ионов с энергией менее 150 эв. Ионы такой энергии не наблюдаются в межпланетной среде и их появление вблизи Марса объясняется влиянием самой планеты. Дальнейшие наблюдения

позволили наметить контуры этой зоны. Отмечалось также уменьшение потоков ионов с энергией более 500 эв. Это соответствует скачку скорости на границе зоны. Контуры границы напоминают очертания бесстолкновительной ударной волны, которую можно ожидать вблизи Марса. Предварительно можно заключить, что зона ионов малых энергий у Марса и есть область заторможенного и разогретого потока ионов за фронтом этой волны.

Предварительный вывод требует подтверждения. Детальный анализ результатов наблюдений и сопоставление их с другими материалами выявили скачок магнитного поля на границе зоны и подкрепили тем самым концепцию ударной волны. При дальнейшем анализе необходимо учесть следующие факты. Во-первых, положение фронта ударной волны значительно изменяется во времени. Во-вторых, расстояние фронта от Марса больше, чем дали расчеты, предполагавшие, что преградой потоку солнечного ветра служит ионосфера Марса. К тому же, расчеты учитывали только газокINETическое давление ионосферы без возможного вклада магнитных полей в ионосфере. Стало быть сложившиеся представления о характере и размере препятствия не вполне соответствуют истине. Поэтому при анализе полученных данных и в дальнейшем будет выясняться природа препятствия, роль ионосферных токов и нейтральной верхней атмосферы Марса. Следующая стадия изучения взаимодействия солнечного ветра и атмосферы Марса требует создания специальной аппаратуры.

Энергетические спектры ионов в солнечном ветре (а) и в плазменном шлейфе (б, в). Первичный максимум в спектре (а) обусловлен протонной доминирующей компонентой потока, второй максимум (не всегда четко различимый в крыле основного) — α -частицами. В межпланетной среде на спектре также выделяются два максимума, которые и в этом случае обусловлены величинами протонной концентрации и концентрации α -частиц



В метеоритный кратер — за алмазами

КАК ОБРАЗУЮТСЯ АЛМАЗЫ

Природный алмаз — символ чистоты и твердости — кристаллизуется из углерода и его соединений в условиях огромных давлений (30—50 кбар) и высоких температур, существующих в земных недрах. Магма по разломам земной коры выносит алмазы вместе с обломками мантийных пород и застывает у поверхности, образуя жилы и округлые жерловины диаметром до одного километра и более — **кимберлитовые трубки**. Некоторые исследователи рассматривают их как жерловины древних вулканов, а сами кимберлиты — как результат подземных взрывов магматического расплава. Обычно кимберлитовые трубки на поверхности почти невозможно «опознать». Лишь после того как верхние горизонты алмазных пород разработаны, можно сравнить возникший гигантский карьер с вулканическим кратером. В таком «кратере» на уступообразных стенках сланцы сменяются известняками или гранитами, а дно этой громадной воронки выстлано кимберлитовыми породами.

Считается, что только глубинные эндогенные процессы могут обеспечить условия, необходимые для кристаллизации алмаза в земной коре. Это можно подтвердить получением искусственных алмазов из графита в условиях их стабильного существования при высоких давлениях (10 кбар) и температурах (около 1500—2000°С). В лабораторных опытах можно добиться, чтобы алмазы кристаллизовались и в метастабильных условиях, то есть в области их неустойчивого существования при относительно низ-

Впервые найдены космогенные алмазы в земных горных породах, испытавших воздействие мощной ударной волны при взрыве метеорита.

ких давлениях и температурах из различных соединений углерода, но такие процессы в природе маловероятны. Искусственные алмазы отличаются по ряду признаков от алмазов из кимберлитов: они более мелкие, хрупкие, темнее окрашены. Ученым не удалось еще воспроизвести природный процесс кристаллизации алмазов во всех деталях. Тем не менее результаты лабораторных экспериментов позволяют надеяться, что трудности со временем будут преодолены.

Возникают ли высокие и сверхвысокие давления и температуры где-либо в земле помимо глубоких недр? И если «да», то не могут ли в подходящих условиях там образоваться алмазы? Эти вопросы уже неоднократно обсуждались учеными.

Многочисленные теоретические, полевые и лабораторные исследования, проводимые в нашей стране и за рубежом, показали, что при падении метеорита, летящего со скоростью более 15—20 км/сек, на поверхность Земли происходит взрыв большой силы; освобождается огромная энергия, на фронте взрывной волны образуется кратковременное ударное давление (до нескольких мегабар) и высокая температура (несколько тысяч градусов). От такого удара земные породы плавятся и частично испаряются, а в месте столкновения образуется взрывной метеоритный кратер диаметром до нескольких де-

сятков километров. В породах, окружающих кратер, и в заполняющих его обломочных массах обнаруживаются признаки ударного метаморфизма — результат прохождения мощной волны. Минералы горных пород испытывают различные ударные деформации, в них появляются сдвиги, следы дробления, раскалывания по ориентированным системам трещин. Если разрушение кристаллических решеток минералов происходит без плавления, минералы превращаются в стеклоподобные тела — **диаплектовые стекла**. Иногда кварц переходит в коэсит и стишовит, образуются и другие соединения. Для некоторых пород характерны конусы разрушения.

ЧТО ТАИТ МЕТЕОРИТНЫЙ КРАТЕР

На земной поверхности к настоящему времени найдено около 60 метеоритных кратеров. Исследователи считают, что самым древним из них 1700 млн. лет, а некоторые небольшие кратеры образовались совсем недавно. Часть этих структур погребена под толщами более молодых осадков — в этом случае их называют астроблемами*. По-видимому, значительное число метеоритных кратеров полностью уничтожено действием воды и ветра.

Недавно обнаружен крупнейший среди известных в настоящее время на поверхности суши Попигайский метеоритный кратер**. Долгое время заполняющие его породы счита-

* В дословном переводе с греческого, астроблема — звездная рана.

** В. Л. Масайтис. По следам космической катастрофы. «Земля и Вселенная», № 5, 1971 г.



лись вулканическими, а сам он рассматривался как огромная вулканическая кальдера. Однако многие необычные свойства этой впадины, а также особенности горных пород в ней не удавалось объяснить вулканическим происхождением. Экспедиционные исследования, проведенные в 1970 году, позволили обнаружить последствия гигантского взрыва, который произошел вблизи поверхности от соударения с крупным метеоритом или небольшим астероидом.

Расположенный на севере Сибири, в зоне лесотундры, кратер имеет диаметр около 100 км. Несмотря на то, что взрыв метеорита произошел приблизительно 30 млн. лет назад, неглубокая округлая котловина все еще заметна в ландшафте местности. По предварительным оценкам, энергия взрыва достигала здесь 10^{30} эрг. Почти полуторакилометровая толща осадочных пород и подстилающие их гнейсы, в которые проник метеорит, были раздроблены и выброшены на десятки километров, а в центре кратера — частично переплавлены. Застывая, этот расплав образовал похождение на лавы и туфы своеобразные породы — **импактиты**, которые по химическому составу напоминают гнейсы. В кратере находятся две разновидности импактитов: массивные — **тагамиты** и обломочные — **зювиты**. Те и другие насыщены включениями



Каменистые склоны холмов в западной части Попигайского метеоритного кратера. Почти в каждом обломке гнейса, лежащем на поверхности, можно найти мелкие чешуйки графита

гнейсов и других пород, а также обломками их минералов. В гнейсах нередко можно обнаружить вкрапления и жилки графита. Стало быть, естественно ожидать, что в Попигайском кратере (как и в любом другом) могли кристаллизоваться алмазы. Конечно, в каких именно породах следовало искать алмазы, как они должны выглядеть и как их извлекать из этих пород — было неизвестно.

Все вопросы, которые возникали перед участниками экспедиции 1970 года — сотрудниками Всесоюзного ордена Ленина научно-исследовательского геологического института (Ленинград) М. В. Михайловым, Т. В. Селивановской и автором настоящей статьи, требовали специальных исследований. По берегам рек, на склонах гор, где на поверхность выходят раздробленные и переплавленные породы, отбирались образцы и пробы, производилась промывка речных наносов на лотке. Отбирали преимущественно импактиты и гнейсы, содержащие чешуйки графита, изучали их под лупой. После возвращения в Ленинград, тонкие срезы пород, а также те минералы, удельный вес которых более 3 г/см^3 (удельный вес алмаза около $3,5 \text{ г/см}^3$) рассматривали под микроскопом. Однако желанных кристаллов со сверкающими гранями среди них не попадалось. Обнаружить первый алмаз помог случай: однажды при обработке образца тагамита на самой его поверхности заметили маленький желтоватый кристаллик очень твердого минерала — он царапал корундовую

пластинку. От этого кристалла откололи небольшой кусочек и сделали рентгенографический снимок. Оказалось, что параметры кристаллической решетки минерала соответствуют алмазу. Эта находка обнадеживала — начались целеустремленные поиски. Вновь обработали собранные до этой находки образцы, а также новые пробы. Породы дробили, отсеивали, опускали в кислоты и щелочи (алмаз и графит, в отличие от других минералов исследованных пород, не растворяются), промывали и извлекали минералы тяжелой фракции с удельным весом более 3 г/см^3 . Наконец, отдельные «подозрительные» зерна диагностировали, чтобы убедиться в их принадлежности к алмазу.

Выполненное С. И. Футергендлер, М. А. Гневушевым и автором предварительное исследование мелких, невзрачных, зелено-черных и почти черных пластинчатых или бесформенных (иногда как бы слоистых) зерен с алмазным блеском на сколах и плохо ограненных кристаллов показало, что многие признаки позволяют рассматривать их как **космогенные импактные алмазы**, возникшие под действием мощной ударной волны.

ИМПАКТНЫЕ АЛМАЗЫ ПОПИГАЯ

Почему же импактные алмазы не удавалось обнаружить раньше? Да потому, что их размеры, внешний вид и физические свойства резко отличались от свойств, характерных для алмазов из кимберлитов или алмазов из россыпей, образовавшихся при разрушении кимберлитовых тру-



бок,— хорошо известных геологам и минералам. Алмазы кимберлитовых трубок — это прозрачные, бесцветные или слабо окрашенные вось-

Импактитовые скалы испещрены включениями гнейсов и других пород, выделяющихся своей светлой окраской. На этих включениях есть следы плавления в условиях высоких давлений и температур, а также ударных преобразований

мигранники или двенадцатигранники, иногда с выпуклыми гранями и как бы округлые. Грани нередко покрыты ступеньками, бороздками, бугорками, которые видны и на осколках кристаллов. Алмазы чаще всего изотропны в поляризованном свете (это можно установить при наблюдении в поляризационный микроскоп). В рентгеновских и ультрафиолетовых лучах алмазы светятся голубым, желтым, зеленоватым цветом, реже не люминесцируют вовсе. В этих алмазах

иногда встречаются включения минералов, которые образовались на больших глубинах,— особого состава гранаты, пироксены, оливины и другие минералы.

О некоторых свойствах алмазов, встреченных в импактитах, уже говорилось. Желтоватая и зеленовато-черная окраска импактных алмазов обусловлена особенностями их кристаллической структуры, а также мельчайшими включениями графита. Эти включения, становясь очень обильными, придают отдельным зернам черную окраску. Попутно отметим, что включения графита встречаются не только в алмазах, их достаточно и в самих импактитах.

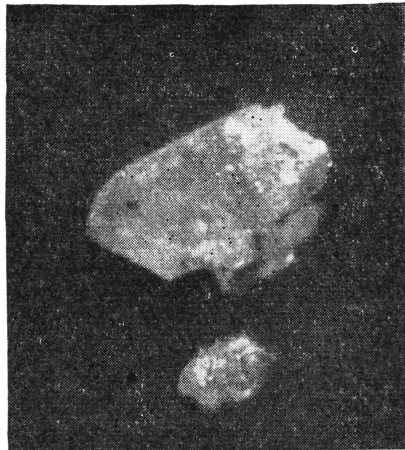
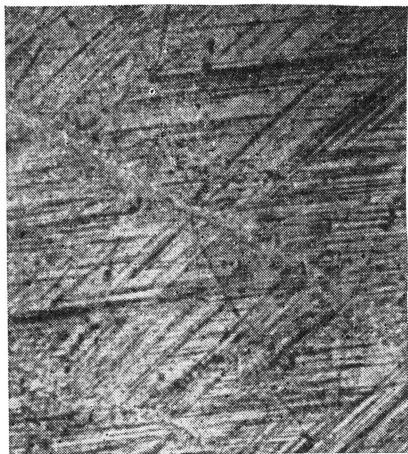
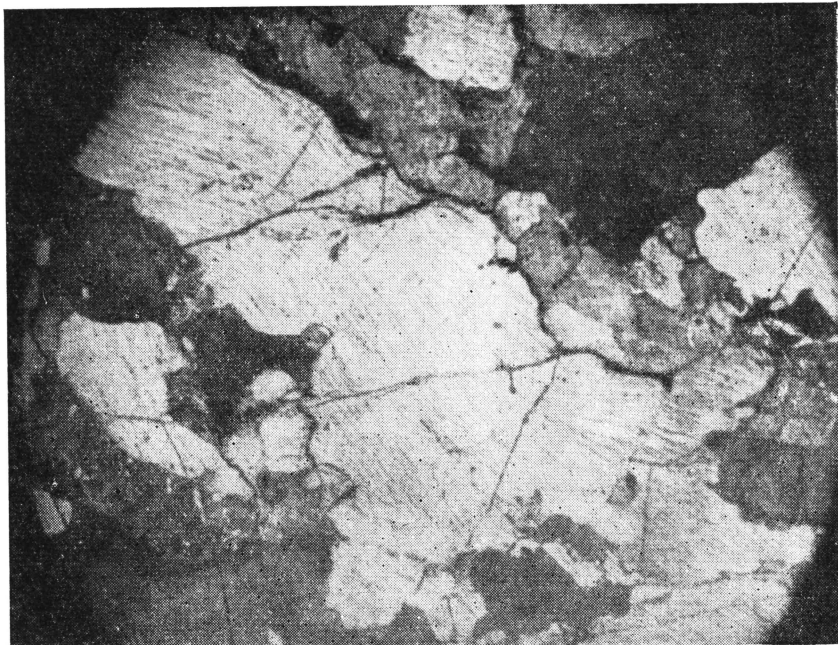
Алмазы, извлеченные из импактитов, это — преимущественно обломки, частью получившиеся при дроблении образцов, или бесформенные зерна; иногда среди них встречаются пластинчатые кристаллы до одного миллиметра в поперечнике с намечающимися гранями и ребрами. Отдельные пластинки имеют шестиугольные очертания. В большинстве случаев ребра как бы сглажены, матовую поверхность граней, изрытую тончайшими ямками, можно сравнить с поверхностью наперстка. По форме некоторые пластинки напоминают кусочки мыленного мыла. Эти особенности свидетельствуют о вторичном воздействии на алмазы импактитового расплава, в котором они находились, о их растворении в нем. Иногда кристаллы как бы заштрихованы параллельными линиями, по-видимому, это — результат деформаций, последовавших тотчас после образования кристаллов. Основным компонентом исследованного минерала был углерод, однако микро-

спектральный анализ показал примеси кремния, магния, кальция, то есть элементов алмазной «золы». Удельный вес алмазов доходит до 3,1 г/см³.

Импактные алмазы анизотропны, не светятся в рентгеновских лучах, но обладают характерным оранжево-красным свечением в ультрафиолетовых лучах. Как показали специальные исследования, спектр люминесценции импактных алмазов непрерывный, что обусловлено быстрой кристаллизацией при весьма высоких давлениях. Было выяснено, что импактные алмазы представляют собой поликристаллы, которые состоят из мельчайших микромонокристалликов, располагающихся упорядоченно.

Замечательной особенностью кристаллической структуры импактных алмазов оказались небольшие количества гексагональной модификации алмаза — лонсдейлита, который не встречается в алмазах из кимберлитов. Лонсдейлит вместе с алмазом был получен экспериментально из кристаллического графита в 1967 году Р. Е. Хэйннеманом с сотрудниками (США) при ударных давлениях от 700 до 1400 кбар и температуре около 1000°. Эти величины определяют вероятные параметры кристаллизации алмаза и лонсдейлита и в Поппайском кратере. Присутствие лонсдейлита еще раз доказывает ударное происхождение импактных алмазов из графита, содержащегося в гнейсах. Алмазы из импактитов резко отличаются от обычных (эндогенных) алмазов, имеющих кубическую структуру пространственной решетки.

Импактные алмазы в свою очередь



включают как бы две разновидности: алмазы из метеоритов и алмазы из импактитов метеоритных кратеров и астроблем. Те и другие имеют ряд

Образец тагамита (в натуральную величину). Видны остатки белых гнейсов, которые в основной своей массе переплавились в черное стекло. В этом черном стекле и находятся алмазы, но увидеть их удастся лишь под микроскопом

При большом увеличении под микроскопом обнаруживается, что монокристаллы кварца в гнейсах нарушены системами тончайших пересекающихся трещин, которые свидетельствуют о прохождении через эти породы мощной ударной волны

Рентгенографические исследования кристаллической структуры этих необычного вида пластинок доказали, что это — алмазы, содержащие лонсдейлит



морфологических различий и принципиально отличаются источником углерода, послужившего исходным материалом для их образования.

Импактные алмазы в метеоритах кристаллизовались либо при соударениях углеродсодержащих каменных метеоритов в космосе, либо при ударах графитсодержащих железных метеоритов о земную поверхность. В обоих случаях углерод имеет «космическое происхождение», в отличие от углерода «земного происхождения» в алмазах из импактитов.

ГДЕ ЕЩЕ МОГУТ БЫТЬ ИМПАКТНЫЕ АЛМАЗЫ?

Импактные алмазы в породах Попигайского кратера оказались первыми, обнаруженными в таких условиях на земной поверхности. Этим была подтверждена принципиальная возможность их образования в результате воздействия энергии взрыва упавшего космического тела на углеродсодержащие породы Земли.

Импациты Попигайского кратера представляют собой новый тип алмазсодержащих пород, ранее неизвестный. Эти породы не имеют ничего общего с кимберлитами, резко отличаются и геологические условия их залегания. Алмазы в импацитах не могут быть и остатками метеоритного вещества, поскольку при взрыве метеорита происходит его полное испарение.

Как выяснилось в последнее время, импактные алмазы распространены в природе гораздо шире, чем это предполагалось Ю. А. Полкановым и

его коллегами из Института минеральных ресурсов (Симферополь). В титано-циркониевых россыпях Украины, центра европейской части СССР, Казахстана, Западной Сибири, а также в пляжных песках Черного и Азовского морей обнаружены мелкие алмазы, по внешнему виду, физическим свойствам и кристаллической структуре подобные алмазам Попигайского метеоритного кратера. Они так же, как и попигайские образцы, содержат примесь гексагональной модификации — лонсдейлита.

Можно допустить, что импактные алмазы, найденные в россыпях (их космогенная природа предполагалась Ю. А. Полкановым еще до попигайских находок), происходят из разрушенных импактитов древних метеоритных кратеров, а «зараженность» далеко отстоящих друг от друга таких россыпей подобными алмазами свидетельствует о множественности их первоисточников. Не исключено, что импактные алмазы в речных наносах и древних россыпях — свидетели былого существования кратеров, полностью разрушенных эрозией.

В европейской части СССР уже давно выявлен ряд загадочных геологических объектов округлой формы, трактовавшихся как «трубки взрыва», «вулканы», «вулканотектонические кольцевые структуры», «зоны дислокаций» и так далее. По мнению автора, заключенные в этих объектах породы обладают признаками ударного метаморфизма (конусы разрушения, диаплектовые мине-

ралы и стекла), а геологическая структура не противоречит трактовке их как древних метеоритных кратеров. Такими древними метеоритными кратерами (астроблемами) являются Пучеж-Катунский (диаметр 80 км), Карский (50 км), Болтышский (25 км), Янисъярви (20 км), Калужский (15 км), Мишиногорский (3 км), Ильинцевский (5 км). Возможно, такую же природу имеют и другие круговые структуры, возникновение которых лишь с трудом можно объяснить обычными геологическими процессами. Метеоритная природа Пучеж-Катунского и Карского кратеров, а также кратера Янисъярви предполагалась уже ранее другими исследователями, но выявление ударного метаморфизма в породах из этих структур, доказывающее это предположение, было сделано нами впервые.

Конечно, трудно допустить, что алмазы могли образоваться в каждом метеоритном кратере. Однако там, где энергия взрыва метеорита была достаточно велика, а в горных породах «мишени» содержался графит или другие формы углерода, можно ожидать встречи с импактными алмазами.

На земной поверхности много углеродсодержащих горных пород, много и древних метеоритных кратеров. Выявленные кратеры составляют лишь незначительную часть от сохранившихся, поэтому можно надеяться, что еще не одной экспедиции предстоит отправиться в метеоритный кратер за алмазами!

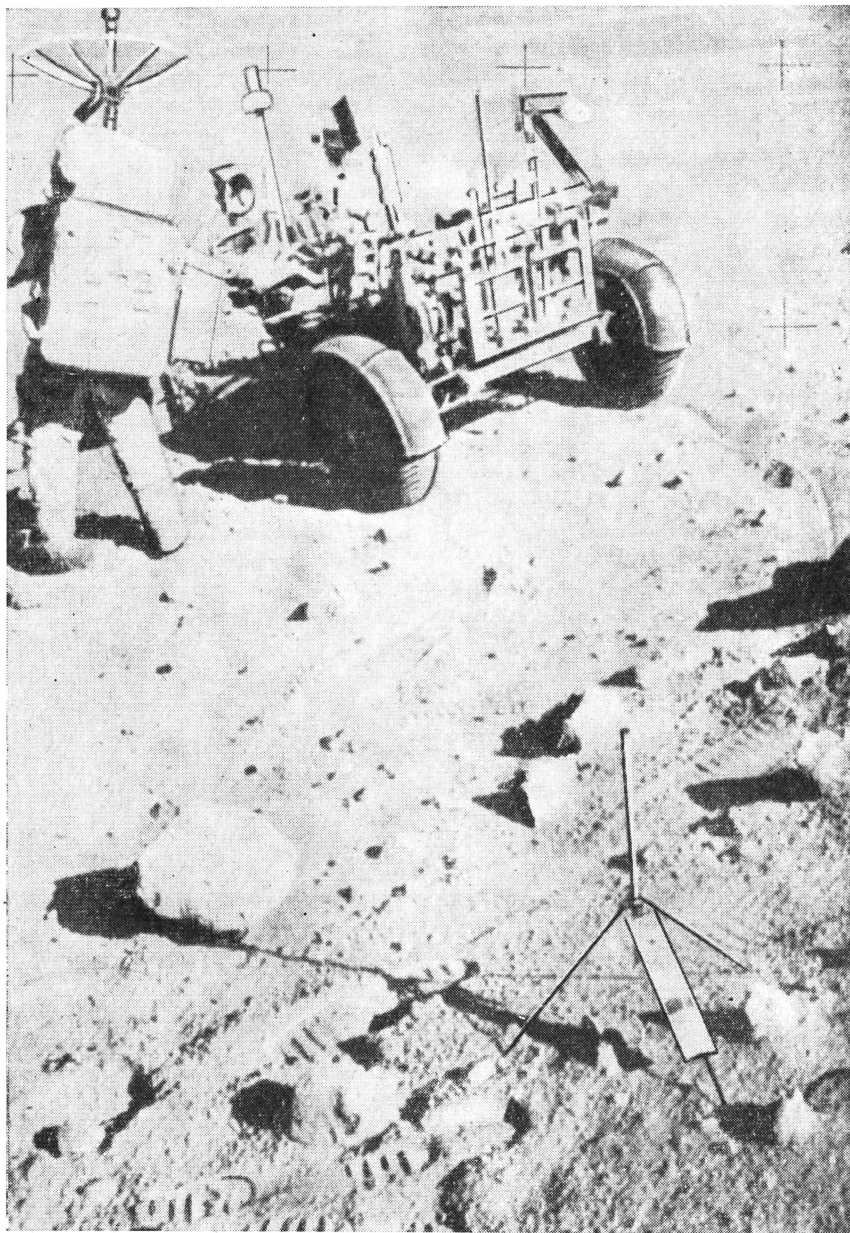


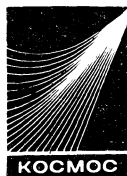
Некоторые научные итоги полета «Аполлона-16»

Полет «Аполлона-16» (с 16 по 27 апреля 1972 года) был предпоследним из намеченных американским проектом исследований Луны. Что же нового дала эта экспедиция!

Очередная американская лунная экспедиция на корабле «Аполлон-16», осуществленная в апреле 1972 года, предусматривала высадку космонавтов на лунном плоскогорье, севернее кратера Декарт. Выбор места посадки объяснялся не только интересом к плоскогорьям, на которых не побывала еще ни одна лунная экспедиция, но и характером именно данного плоскогорья, где ученые, основываясь на наблюдениях с Земли и с селеноцентрической орбиты, ожидали найти вулканические породы. Помимо исследований на поверхности Луны программа полета «Аполлона-16» предусматривала съемку Луны с селеноцентрической орбиты и доставку на эту орбиту автоматического спутника. Запланированы были эксперименты и по глубинному сейсмическому зондированию Луны: установленные на Луне сейсмометры предназначались для регистрации колебаний, вызванных падением на Луну последней ступени ракеты-носителя и использованной взлетной ступени лунной кабины.

Научная программа полета «Аполлона-16», безусловно, разнообразна и интересна. Не всю ее удалось выполнить, но то, что сделано, по заявлению американских ученых, дало наиболее богатые научные результаты по сравнению со всеми предыдущими лунными экспедициями. Некоторые сведения оказались довольно





неожиданными. Так, при первом же выходе на лунную поверхность космонавты сообщили, что они не обнаружили почти никаких признаков вулканизма. Впоследствии анализ доставленных на Землю образцов (всего 97,5 кг) подтвердил справедливость этого сообщения. Примерно 80% изученных образцов — невулканические брекчии, а остальные 20% — кристаллические скальные породы. Только три или четыре образца могут быть продуктом вулканической деятельности. Впрочем, нельзя уверенно утверждать, что они представляют коренные породы данного района.

Химический анализ образцов, доставленных «Аполлоном-16», показал очень высокое (приблизительно 26,5%) содержание окиси алюминия. В имевшихся ранее образцах оно не превышало 10—15%, то есть примерно столько же, сколько в земных породах. Отмечено также высокое содержание кальция. Поэтому некоторые американские ученые утверждают, что образцы относятся к первичной коре Луны. Когда Луна была в расплавленном состоянии, плагиоклазы, содержащие легкие металлы алюминий и кальций, всплыли и после отвердения образовали кору.

На Землю доставлена колонка грунта (керна) длиной 2,7 м. Материал с такой глубины представляет особый интерес, поскольку может рассказать о происхождении и эволюции Луны. Не менее интересен образец грунта, взятый с постоянно затененного участка у большого камня. В этом образце при отсутствии солнечного нагрева могли сохраниться летучие вещества. К сожалению, космонавты потеряли специальный гер-

метический контейнер, куда предполагали положить этот образец (очевидно, контейнер выпал из лунохода), и пришлось воспользоваться обычным пластмассовым мешочком. Конечно, летучие вещества, которые в течение миллионов, а возможно, и миллиардов лет сохранялись в грунте, за несколько дней транспортировки на Землю могли частично или полностью улетучиться.

Чтобы выяснить, как влияют условия транспортировки на магнитные свойства образцов, был проделан следующий эксперимент. В одном из лунных камней, доставленных в ноябре 1969 года «Аполлоном-12», обнаружена слабая намагниченность. Требовалось определить, является ли она природной характеристикой или наведена магнитным полем корабля за время полета по трассе Луна—Земля. Образец в земной лаборатории размагнитили, отправили на Луну в кабине «Аполлона-16» и снова доставили на Землю. В образце опять возникла слабая намагниченность, видимо, под влиянием магнитного поля корабля.

Одну из глубинных проб грунта космонавты поместили в вакуумный контейнер еще на Луне. Вскрывать этот контейнер будут через несколько лет. Когда разработают более совершенные приборы и методы анализа, тогда и появится реальная возможность обнаружить редкие газы и химические элементы, которые нельзя зарегистрировать современными методами и приборами.

Портативный магнитометр «Аполлона-16» показал напряженность до 300 гамм, то есть на два порядка больше, чем можно было предпола-

гать по результатам измерений с окололунной орбиты. Когда в 1971 году высокую напряженность обнаружил портативный магнитометр «Аполлона-14»*, многие ученые высказывали сомнение в правильности показаний прибора. Теперь сомнения отпали. Высокую напряженность объясняют остаточным магнетизмом лунной коры — когда-то Луна имела весьма сильное магнитное поле. Кроме портативного магнитометра, использовавшегося при поездках на луноходе, космонавты установили стационарный магнитометр. На Луне уже создана сеть работающих стационарных магнитометров, лазерных отражателей и сейсмометров.

Геофоны (активные сейсмометры) зарегистрировали колебания от 19 взрывов пиротехнических зарядов (Дж. Янг подорвал их с помощью специального ударника), а также колебания, произведенные гранатами, которые по команде с Земли были выпущены на Луне гранатометом через месяц после отлета космонавтов. Анализ этих колебаний показал, что реголит простирается, возможно, до 45 м. Значит, Луна на такую глубину «перепажана» падающими метеоритами.

К сожалению, не все намеченные эксперименты по сейсмическому зондированию удалось выполнить. Регистрация сейсмических колебаний, вызванных падением последней ступени ракеты-носителя, дала меньше информации, чем рассчитывали. Связь

* Д. Ю. Гольдовский. Предварительные научные результаты полета «Аполлона-14». «Земля и Вселенная», № 6, 1971 г.

со ступенью прервалась, скорректировать ее траекторию не смогли, и она упала далеко от намеченного района, причем ни место, ни момент падения точно не известны, а это обстоятельство значительно снижает ценность сейсмического зондирования. Совсем не удался эксперимент с падением на Луну использованной взлетной ступени лунной кабины. Космонавты забыли установить переключатель в нужное положение, поэтому нельзя было сориентировать и затормозить ступень. Она летает по селеноцентрической орбите, а когда и куда упадет, рассчитать нельзя, так как передатчик на ступени уже не работает.

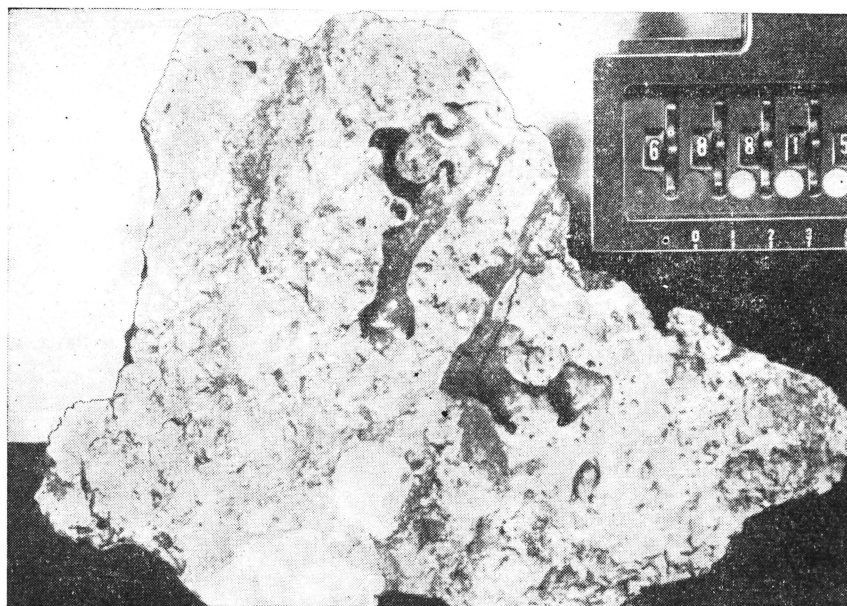
Однако в другом ученом повезло. 13 мая 1972 года на Луну упал естественный объект — крупный метеорит (по оценке, поперечник его около 2 м, освободившаяся энергия эквивалентна энергии взрыва 200 т тринитротолуола) и вызванные падением колебания проникли на недостижимую ранее глубину. Их зарегистрировали все работающие сейсмометры на Луне. Интерпретация полученных данных позволяет предположить, что в месте падения метеорита (близ кратера Фра Мауро) толщина лунной коры составляет 60 км, ниже — до глубины 960 км простирается мантия, а под ней лежит ядро.

К сожалению, не удалось провести измерения тепловых потоков, идущих из недр Луны к ее поверхности. Янг по неосторожности порвал кабель, соединяющий прибор для измерения потоков с блоком телеметрического оборудования. Это — большая неудача. Аналогичный прибор, установленный экспедицией «Аполлона-15», об-

наружил, что интенсивность тепловых потоков оказалась в 2,5 раза больше, чем ожидалось. Необходимо было выяснить, локальны ли эти интенсивные потоки или они характерны для Луны в целом. Место посадки космонавтов «Аполлона-16» весьма далеко от пункта, где опустилась кабина «Аполлона-15», и сравнение результатов измерений дало бы материал для важных выводов.

Чрезвычайный интерес представляют снимки и спектры, полученные ультрафиолетовым спектрографом на Луне. На снимках, сделанных этим прибором, видно, что наша планета окаймлена не только «знакомыми» кольцами водорода и гелия, но и ранее неизвестным кольцом ионизованного кислорода и азота. Кроме хорошо изученных полярных зон сияний на Земле, а также экваториальной зоны сияний, о существовании которой подозревали, обнаружена

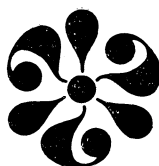
Осколок крупного камня с большими полостями. Образец содержит различные включения и металлические частицы



пока необъясненная зона сияний, расположенная под углом 30° к экваториальной.

Съемка и зондирование с селеноцентрической орбиты дали много интересных сведений, хотя из-за технических неполадок продолжительность орбитальных исследований пришлось сократить на сутки. По аналогичным причинам автоматический спутник был выведен на более низкую орбиту, чем предусматривалось, и вместо года просуществовал на орбите только 35 суток. Селенологи получили от спутника лишь часть ожидавшейся информации о гравитационном и магнитном полях Луны, о космическом излучении и солнечном ветре.

Здесь перечислены далеко не все эксперименты, проведенные экипажем «Аполлона-16». Но даже из этого краткого перечня видно, что эта экспедиция внесла важный вклад в исследование Луны. К большому разочарованию американских ученых, программа «Аполлон» в 1972 году заканчивается, причем в ближайшее десятилетие США не планируют посылать на Луну ни пилотируемые, ни автоматические космические объекты.



ОТВЕТЫ
НА ВОПРОСЫ
ЧИТАТЕЛЕЙ

Выполняя просьбу читательницы М. Н. Каск (г. Жуковский, Московская область), научный сотрудник Института космических исследований АН СССР Н. П. СЛОВОХОТОВА рассказывает о мягких посадках космических летательных аппаратов на Луну.

Как известно, эпоха непосредственного изучения естественного спутника Земли была открыта советской автоматической станцией «Луна-2», впервые совершившей полет на Луну в сентябре 1959 года. К настоящему времени для всестороннего исследования Луны на окололунные орбиты и на ее поверхность запущено более полусотни космических зондов различного типа.

В феврале 1966 года мягко опустилась на Луну советская автоматическая станция «Луна-9», которая передала на Землю панорамы лунного микрорельефа. Затем последовали запуски космических аппаратов этой же серии, а также американских автоматических лунных станций «Сервейер». Поверхность Луны детально фотографировалась, изучались свойства лунного грунта.

В июле 1969 года члены экипажа американского космического корабля «Аполлон-11» впервые побывали на Луне, провели там ряд научных экспериментов и привезли образцы лунных пород.

В ноябре 1970 года на Луне начал работать первый советский автоматический самоходный аппарат «Луноход-1», который за десять лунных дней выполнил обширную научную программу.

В феврале 1972 года советская автоматическая станция «Луна-20» впервые доставила на Землю образец реголита с лунного материка*.

Таковы основные вехи в изучении Луны космическими зондами, совершившими мягкую посадку на ее поверхность.

* 16 января 1973 года совершила мягкую посадку в кратере Лемонье советская автоматическая станция «Луна-21», доставившая туда второй Луноход.

№ п/п	Название аппарата, его международное обозначение, страна	Дата запуска и дата прилунения (по Гриничу)		Район посадки	Селено-графические координаты
1	«Луна-9» 1966 06 А СССР	31 января 1966 г.	3 февраля 1966 г.	Океан Бурь, между кратерами Галилей и Кавальери	$\beta = 7^{\circ},1$ с. ш. $\lambda = 64^{\circ},4$ з. д.
2	«Сервейер-1» 1966 45 А США	30 мая 1966 г.	2 июня 1966 г.	Океан Бурь, к северу от кратера Флемстид	$\beta = 2^{\circ},5$ ю. ш. $\lambda = 43^{\circ},2$ з. д.
3	«Луна-13» 1966 116 А СССР	21 декабря 1966 г.	24 декабря 1966 г.	Океан Бурь, к юго-востоку от кратера Селевк	$\beta = 18^{\circ},9$ с. ш. $\lambda = 62^{\circ},0$ з. д.
4	«Сервейер-3» 1967 35 А США	17 апреля 1967 г.	20 апреля 1967 г.	Океан Бурь, к юго-востоку от кратера Лансберг	$\beta = 3^{\circ},0$ ю. ш. $\lambda = 23^{\circ},3$ з. д.
5	«Сервейер-5» 1967 84 А США	8 сентября 1967 г.	11 сентября 1967 г.	Море Спокойствия, к востоку от кратера Сабин	$\beta = 1^{\circ},4$ с. ш. $\lambda = 23^{\circ},2$ в. д.
6	«Сервейер-6» 1967 112 А США	7 ноября 1967 г.	10 ноября 1967 г.	Залив Центральный	$\beta = 0^{\circ},5$ с. ш. $\lambda = 1^{\circ},4$ з. д.
7	«Сервейер-7» 1968 01 А США	7 января 1968 г.	10 января 1968 г.	К северу от кратера Тихо	$\beta = 40^{\circ},9$ ю. ш. $\lambda = 11^{\circ},5$ з. д.
8	«Аполлон-11» 1969 59 А США	16 июля 1969 г.	20 июля 1969 г.	Море Спокойствия, к востоку от кратера Сабин	$\beta = 0^{\circ},7$ с. ш. $\lambda = 23^{\circ},5$ в. д.
9	«Аполлон-12» 1969 99 А США	14 ноября 1969 г.	19 ноября 1969 г.	Океан Бурь, к юго-востоку от кратера Лансберг	$\beta = 3^{\circ},2$ ю. ш. $\lambda = 23^{\circ},4$ з. д.
10	«Луна-16» 1970 72 А СССР	12 сентября 1970 г.	20 сентября 1970 г.	Море Изобилия, к западу от кратера Уэбб	$\beta = 0^{\circ},7$ ю. ш. $\lambda = 56^{\circ},3$ в. д.
11	«Луна 17» 1970 95 А СССР	10 ноября 1970 г.	17 ноября 1970 г.	Море Дождей, к югу от Мыса Гераклид	$\beta = 38^{\circ},3$ с. ш. $\lambda = 35^{\circ},0$ з. д.
12	«Аполлон-14» 1971 08 А США	31 января 1971 г.	5 февраля 1971 г.	К северу от кратера Фра Мауро	$\beta = 3^{\circ},7$ ю. ш. $\lambda = 17^{\circ},5$ з. д.
13	«Аполлон-15» 1971 63 А США	26 июля 1971 г.	30 июля 1971 г.	К востоку от Борозды Хэдли	$\beta = 26^{\circ},1$ с. ш. $\lambda = 3^{\circ},6$ в. д.
14	«Луна-20» 1972 07 А СССР	14 февраля 1972 г.	21 февраля 1972 г.	К северо-западу от кратера Аполлоний С	$\beta = 3^{\circ},5$ с. ш. $\lambda = 56^{\circ},5$ в. д.
15	«Аполлон-16» 1972 31 А США	16 апреля 1972 г.	21 апреля 1972 г.	К северу от кратера Декарт	$\beta = 9^{\circ},0$ ю. ш. $\lambda = 15^{\circ},5$ в. д.
16	«Аполлон-17» 1972 96 А США	7 декабря 1972 г.	11 декабря 1972 г.	К юго-западу от кратера Литтров	$\beta = 20^{\circ},2$ с. ш. $\lambda = 30^{\circ},7$ в. д.



Кандидат технических наук

Н. Я. КОНДРАТЬЕВ

Звезды указывают путь самолетам

Красивое зрелище представляет собой звездное небо. Серебристая мерцающая россыпь далеких и таинственных миров, как великая книга, созданная самой природой, повествует о бесконечности и величии Вселенной. На небе видны и яркие звезды, приковывающие к себе внимание, и менее яркие, и еле различимые невооруженным глазом. Очертания некоторых групп звезд напоминают различные фигуры — ковша, креста, серпа, самолета.

В темную безлунную ночь небо настолько привлекательно, что, кажется, на него можно смотреть без конца. Один древний мудрец, великий знаток и ценитель природы, говорил, что если бы звезды были видны только с одного какого-то участка Земли, то туда люди шли бы из далеких стран, чтобы полюбоваться ими, — столь заманчив и необычен вид далеких миров.

Небесные светила являют нам не только красивое зрелище. Они служат надежными ориентирами, по которым человек определяет направление точек горизонта и свое местонахождение на земле, в море, воздухе и космосе.

ЗВЕЗДЫ УКАЗЫВАЮТ ПУТЬ

Методы астрономической ориентировки широко используются в жизни. Большое применение астрономия нашла в морском флоте и авиации. Из практической астрономии выделились самостоятельные отрасли науки — астрономия мореходная и авиационная, которые помогают определять местонахождение корабля или самолета по небесным светилам.

Астрономическая навигация — один из надежных методов самолетовождения. Небесные светила будут основными ориентирами и в межпланетных космических полетах.

Способы этих определений складывались веками. Уже древнегреческие мореплаватели умели ориентироваться по звездам. Со временем астрономические приборы и методы их применения совершенствовались.

Астрономия не утратила своего значения для кораблевождения и с появлением магнитного компаса, ведь в его показания надо вводить трудно определяемые поправки.

Колумб, достигший в 1492 году Америки, много претерпел от ненадежной работы магнитного компаса. И нам понятна категоричность реплики знаменитого мореплавателя: «Существует лишь одно безошибочное корабельное исчисление — это астрономическое; счастлив тот, кто с ним знаком».

Авиационная астрономия зародилась на основе опыта мореходной астрономии. Впервые в мире астрономические измерения для определения местонахождений воздушного шара в воздухе были проведены русскими воздухоплавателями в 1897—1898 годах.

Применять астрономические приборы в авиации также впервые стали русские летчики при дальних полетах тяжелых самолетов «Илья Муромец» и «Русский витязь» в 1913—1916 годах.

Развивалась авиация, совершенствовалась и авиационная астрономия. Выдающиеся авиационные штурманы,

участники межконтинентальных и арктических перелетов — первый флагштурман Военно-Воздушных Сил Б. В. Стерликов, Герои Советского Союза А. В. Беляков, С. А. Данилин, И. Т. Спирин, ветераны Великой Отечественной войны Герои Советского Союза С. М. Романов, Ф. С. Яловой, известные полярные штурманы В. И. Аккуратов, А. П. Штепенко и многие другие весьма высоко оценивали астрономические способы самолетовождения. «Самый важный прибор на нашем самолете — солнечный указатель курса», — писал штурман экипажа В. П. Чкалова А. В. Беляков в своей книге «Из Москвы в Америку через Северный полюс». И. Т. Спирин в книге «Покорение Северного полюса» особо отметил: «Единственно точной и неизменно безотказной мы считали лишь воздушную астрономию, и это целиком подтвердилось в полете; только она выручала нас в трудные минуты, вела и точно привела к намеченной цели».

В развитии астрономических методов и средств воздушной навигации участвовали многие. Значительную роль сыграли здесь инженер Л. П. Сергеев и профессор Р. В. Куницкий.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СЛУЖАТ САМОЛЕТОВОЖДЕНИЮ

Не потеряла ли астрономическая навигация былого значения в настоящее время, когда повсеместно применяются радио, электроника, автоматика? Нет, не потеряла!

Астрономические средства самолетовождения по сей день являются составной частью большого навига-



ционного комплекса, необходимого для успешного самолетовождения при полетах на больших высотах и скоростях, в сложных метеорологических условиях, днем и ночью, в различных географических широтах.

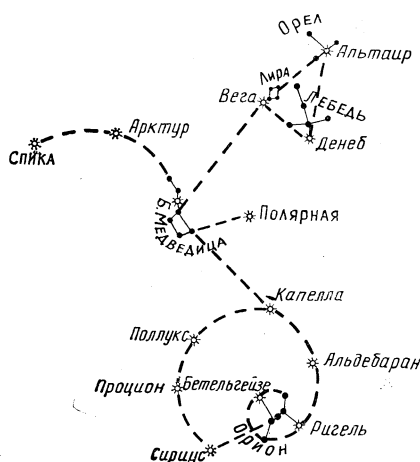
Существует множество точных, сложных навигационных систем и простых пилотажно-навигационных приборов, с помощью которых экипаж выдерживает режим полета — курс, скорость, высоту. Эти приборы и системы можно разделить на три группы технических средств самолетовождения*. На борту самолета есть магнитные компасы, барометрические высотомеры, указатели воздушной скорости и другие приборы, которые дают показания в зависимости от различных характеристик околоземного пространства (магнитного поля, давления и прочих). Эти приборы составляют группу геотехнических средств.

Радиотехнические средства — угломерные, дальномерные, угломерно-дальномерные, разностно-дальномерные системы навигации — приводятся в действие электромагнитными полями, специально создаваемыми на борту самолета или на земле.

Астрономические средства самолетовождения — астрономические компасы, секстанты и ориентаторы, радиоастрономические приборы — улавливают световое или радиоизлучение небесных тел.

Конечно, эта классификация, как и многие другие, не очень строга и несколько условна. Например, нави-

* Мы не касаемся светотехнических средств (светомаяки и другие искусственные источники света), применяющихся в основном при посадке самолета и при полете в сложных метеорологических условиях.



гационные спутники Земли могут быть отнесены и к радиотехническим, и астрономическим средствам. На спутнике располагается источник электромагнитной энергии — признак радиотехнической группы, но использование ИСЗ при решении навигационных задач основано на способах, характерных для астрономической группы.

С другой стороны, предлагаемая классификация позволяет дать общую характеристику технических средств самолетовождения, обоб-

Старинное изображение созвездия Ориона на картах. В древние времена названия созвездиям давались по сходству конфигураций ярких групп звезд с очертаниями сказочных героев, животных, предметов

На этой схеме легко найти навигационные звезды

щить преимущества и недостатки каждой группы.

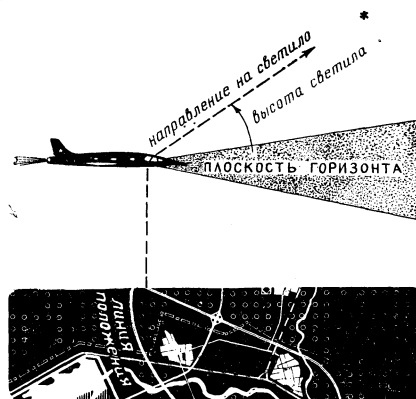
Геотехнические средства можно применять автономно, независимо от того, видна земля или нет. К сожалению, точность измерений геотехническими средствами часто бывает недостаточной.

Радиотехнические средства пригодны для работы в любых метеорологических условиях, но они подвержены радио- и атмосферным помехам, а точность определения места самолета уменьшается по мере удаления от наземных радиостанций.

Астрономические средства имеют постоянную точность в любом пункте земного шара, они не подвержены тем помехам, которые затрудняют работу с радиотехническими средствами. Астрономические средства можно применять автономно, независимо от наземных служб. Правда, использование оптических приемных устройств ограничено степенью видимости небесных светил. Но радиоастрономические средства свободны от этого недостатка.

Группа геотехнических устройств и приборов служит во всех полетах с момента взлета и до приземления. Другие средства выбираются в зависимости от условий и задач полета.

Так, астрономические приборы более эффективны в дальних маршрутах, особенно над облаками, морем или над поверхностью, лишенной ориентиров. Можно наблюдать все небесные светила, для которых заранее определены высоты и азимуты и которые видны невооруженным глазом или обнаруживаются чувствительной частью прибора. В навигационной практике принято использовать Солнце, Луну (она видна не только ночью, но и в течение 8%

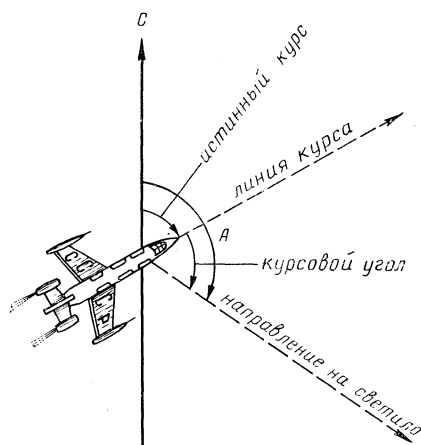
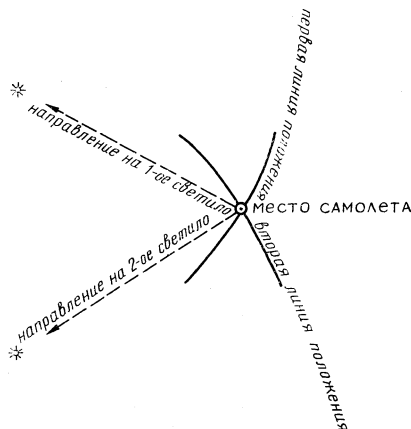


светлого времени суток), четыре наиболее яркие планеты — Венеру, Марс, Юпитер, Сатурн и 27 наиболее ярких звезд, называемых навигационными. Для всех них составлены таблицы высот и азимутов.

КАК ОТЫСКАТЬ НАВИГАЦИОННЫЕ ЗВЕЗДЫ

Хорошо известное созвездие Большой Медведицы, яркие звезды которого образуют огромный ковш, помогает найти многие созвездия и навигационные звезды. Если мысленно продолжить ручку ковша Большой Медведицы, то на этой линии встретятся звезда Арктур из созвездия Волопаса, звезда Спика из созвездия Девы. Поблизости от Арктура и Спика нет ярких звезд, поэтому эти две звезды легко отыскиваются и запоминаются. Летом в течение всей ночи очень хорошо виден «летний треугольник», образованный тремя заметными звездами: Вега из созвездия Лиры, Денебом из созвездия Лебеда и Альтаиром из созвездия Орла. Все эти звезды достаточно яркие, особенно Вега, блестящая на фоне слабых звезд, как жемчужина. Созвездия, в которые они входят, тоже хорошо запоминаются: Лира имеет форму ромбика, Лебедь — большого креста, Орел — самолета. Самую яркую звезду этого треугольника, Вега, можно также отыскать на прямой, проведенной от дна ковша Большой Медведицы через звездочку, лежащую в основании его ручки.

Зимой очень хорошо видно красивое созвездие Орион. Своей конфигурацией созвездие напоминает огромный бант с четырьмя звездами по углам и тремя белыми звездоч-



Во время полета штурман измеряет высоту светила и определяет линию положения — линию, в одной из точек которой находится самолет

Пересечение двух линий положений на карте указывает место самолета

Истинный курс самолета определяется как разность между азимутом светила и его курсовым углом

ками посредине — поясом Ориона. Верхняя левая звезда — красноватая Бетельгейзе. В правом нижнем углу находится голубоватый Ригель.

Если провести спиралеобразную линию через крайние звезды Ориона и продолжить ее дальше, то на этом участке неба легко различить звезды Альдебаран из созвездия Тельца, Капелла из созвездия Возничего, Поллукс из созвездия Близнецов, Процион из созвездия Малого Пса и Сириус из созвездия Большого Пса. Сириус — самая яркая звезда неба — лежит на продолжении пояса Ориона.

Весь этот участок неба можно найти и от созвездия Большой Медведицы, так как Капелла находится на продолжении прямой, проведенной через звездочки верхнего края ковша в противоположную сторону от ручки.

В отличие от северного неба, где вблизи полюса мира расположена α Малой Медведицы (Полярная), Южный полюс мира не обозначен заметной звездой. Однако вторая по яркости звезда всего неба Канопус из созвездия Киля (Корабль Арго), характерные созвездия Южного Креста, Южного Треугольника и другие помогают летчику уверенно держать курс самолета.

ШТУРМАН ОРИЕНТИРУЕТСЯ ПО ЗВЕЗДАМ

Как для управления морским кораблем надо знать, в каком пункте он находится, так и для пилотирования воздушного корабля необходимы его координаты. Их определяют из астрономических измерений, проводимых на борту самолета.

Применение астрономических средств в полете основано на изме-



рении высоты небесного светила — вертикального угла между линией горизонта и направлением на светило или его курсового угла — горизонтального угла между осью самолета и направлением на светило.

По небесным светилам можно определять два основных навигационных элемента полета — место и курс самолета. Современные астрономические средства позволяют получать эти элементы непрерывно на приборной доске в виде текущих координат самолета и постоянного указания курса самолета для выдерживания заданного направления полета.

При определении места самолета астроориентатором штурман выбирает две навигационные звезды так, чтобы угол между направлениями на них был в пределах от 60° до 120° , и направляет на них следящие системы ориентатора. В дальнейшем они ав-

томатически удерживают направление на избранные звезды, а счетно-решающий прибор производит необходимые расчеты и выдает текущие координаты и курс самолета.

Когда место самолета определяется ручным или перископическим секстантом, штурман измеряет высоту светила, производит необходимые расчеты и на карте прокладывает линию положения самолета.

Пеленгацией второго небесного светила можно получить вторую линию положения, которая в пересечении с первой дает место нахождения самолета.

При определении курса самолета пеленгуется какое-либо избранное небесное светило и (в зависимости от типа астрокомпаса) вычисляется истинный курс или же он сразу снимается с индикатора.

Но есть и еще один прием астро-

номической ориентировки, не связанный с применением каких бы то ни было технических средств. Опытный летчик и штурман, особенно летчик одноместного самолета, охотно взглянет на Солнце или Луну, на Полярную звезду или на другую четко запоминающуюся звезду, чтобы глазомерно, грубо, навскидку определить точки горизонта, направление полета, а иногда и приблизительное время. Неразумно отказываться от того, что дано самой природой.

Так, без всяких усилий и потерь времени (что очень важно в динамичных условиях полета и быстроменяющейся обстановки) можно контролировать показания инструментальных измерений.

Современные технические средства самолетовождения имеют совершенные конструкции и методы решения навигационных задач в полете.

Ориентировка по звездам на море и в воздухе интересует многих. Не случайно редакция попросила известного советского штурмана генерал-майора авиации Н. Я. Кондратьева рассказать о том, что представляет собой современная авиационная астрономия. В одном из следующих номеров «Земли и Вселенной» читатели познакомятся и с сегодняшним днем мореходной астрономии. А пока автор будущей статьи собирается с мыслями, мы предлагаем нашим читателям послушать Джека Лондона. Путешествия для писателя, объездившего почти весь мир, были источником постоянного вдохновения. Одним из главных событий его недолгой жизни (Джек Лондон родился в 1876 году, а умер в 1916 году вскоре после возвращения из плавания на Гавайи) было путешествие на «Снарке». На паруснике, имевшем сорок три фута по ватерлинии, пятьдесят пять по

О том, как Джек Лондон изучал навигацию

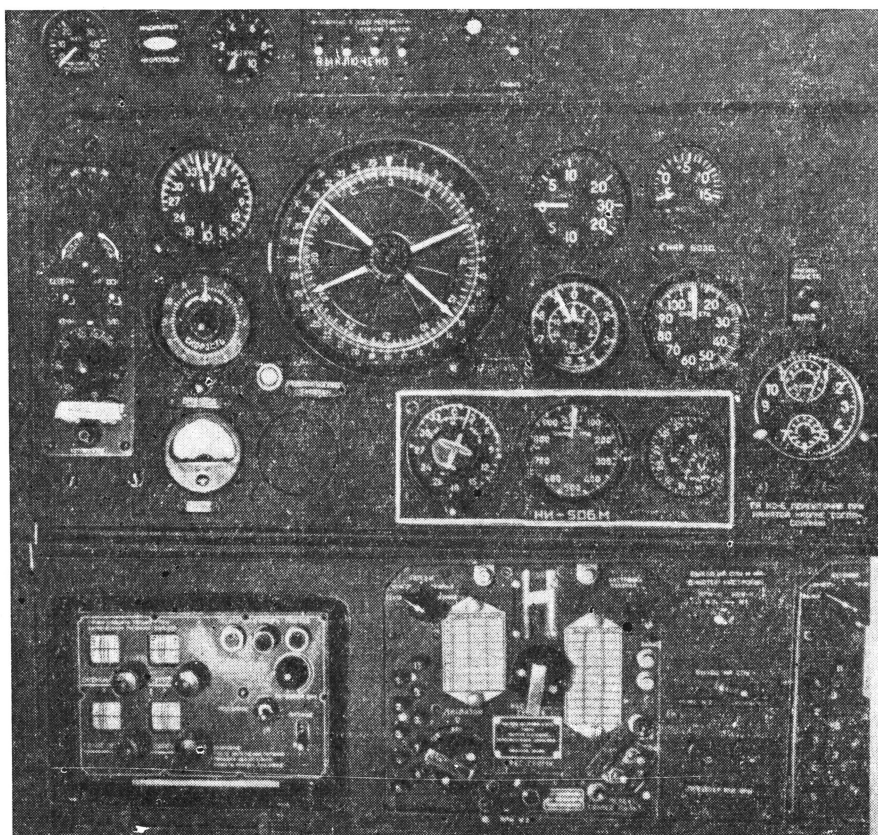


верху, ширину пятнадцать футов и сидевшему в воде на семь футов и восемь дюймов, Джек Лондон плавал целых два года (путешествие началось 13 апреля 1907 года). Трудным было путешествие на «Снарке». Оно стоило писателю много сил, средств и здоровья. Обожженный лучами беспощадно палящего солнца, измученный страшными неведомыми болезнями, Джек Лондон неутомимо работал на «Снарке». Здесь он завершил свои романы «Железная пята», «Мартин Иден», начал писать новые книги. Книга «Путешествие на «Снарке» и по сей день привлекает мастерскими рисовками, относящимися к географии и этнографии Океании. Есть в ней несколько ярких страниц и об астрономической навигации на паруснике...

«А теперь расскажу вам простыми словами, как я сам себя научил нави-

Созданные на базе высокоточной электроники и автоматики, они позволяют успешно летать на больших скоростях в сложных метеорологических и географических условиях, днем и ночью. Однако присущие им свойства и определенные ограничения не позволяют полагаться в полете только на одну какую-то группу средств. Поэтому одно из основных правил самолетовождения требует комплексного применения всех имеющихся в распоряжении экипажа средств навигации. Автору этой статьи за длительную службу авиационным штурманом приходилось выполнять поле-

На приборной доске самолета множество пилотажных и навигационных приборов, среди которых есть и астрономические. В левом нижнем углу расположен вычислитель координат дистанционного астрономического компаса



гации. Один раз я провел все послеобеденное время у штурвала, правя одной рукой, а другой делая вычисления по таблице логарифмов. Другие два вечера — по два часа каждый вечер — я изучал общую теорию навигации и, в частности, процесс определения высоты меридиана. Потом я взял секстант, ввел поправку по «Индексу» и определил высоту Солнца. Дальнейшие вычисления были просто детской игрой. В «Кратком руководстве» и в «Альманахе» оказались готовые таблицы, составленные математиками и астрономами. Пользоваться ими было так же легко, как таблицей процентов или электрическим счетчиком. Тайна перестала быть тайной. Я ткнул пальцем в карту и объявил, что мы находимся здесь. Я оказался прав.

Я уже не был обыкновенным человеком: я знал что-то, чего они не знали, я знал тайну неба, указываю-

щую мне дорогу над пучинами моря. Долгими часами я сидел на руле, правя одной рукой и держа в другой ключ к изучаемым тайнам. К концу недели такого самообучения я был уже способен на многое. Например, я определял высоту Полярной звезды, — конечно, ночью; я вводил нужные поправки, вычислял и находил нашу широту. И эта широта совпадала с широтой, определенной в полдень, с прибавкой тех изменений, которые должны были произойти за день. Мог ли я не гордиться? Но еще более возгордился я после следующего чуда. Обычно я уходил к себе в девять вечера. Я занимался самообучением и поставил себе задачей определить, какая звезда должна пройти через наш меридиан около половины девятого. Такой звездой оказалась Альфа Креста. Я никогда не слышал об этой звезде. Я разыскал ее на карте звездного неба. Это была одна из звезд

в созвездии Южного Креста. «Как! — подумал я, — мы плыли при свете Южного Креста по ночам и ничего не знали об этом! Идиоты! Дураки и кроты!». Я не поверил себе и еще раз проделал все вычисления. И когда небо вызвездилось, невысоко над горизонтом стоял Южный Крест. Гордился ли я? Ни один врач и ни один жрец никогда не был так горд, как я. Еще лучше: с помощью священного секстанта я определил высоту Альфы Креста и по ней вычислил нашу широту. Еще лучше: я определил высоту Полярной звезды, и все, что я узнал от нее, в точности совпадало с тем, что мне сообщил Южный Крест. Гордился ли я? Да ведь я, значит, понимаю язык звезд и слышу, как они указывают мне путь над пучиной!

Гордился ли я? Я был чудотворцем. Я позабыл, как легко я приобрел мои познания со страниц книг. Я позабыл, что вся работа (о, это была трудная



ты в самых разнообразных условиях в период войны и в мирное время, летать на Дальнем Востоке, в Средней Азии, в Арктике, за границей. Трудно представить себе маршрутный полет только с одной какой-то группой навигационных средств. Но при полетах в полярных широтах астрономические средства были всегда основными.

БУДУЩЕЕ АВИАЦИОННОЙ АСТРОНОМИИ

Развитие современных средств самолетовождения немыслимо без комплексного решения навигационных задач. Так, существующие курсовые системы в качестве датчиков могут иметь одновременно магнитный, радиоастрономический и гирокомпасы. Комплексные навигационные системы, в зависимости от типа само-

лета, для счисления пути часто применяют различные сочетания технических средств. В этих сочетаниях астрономические средства обладают большой перспективой, главным образом, вследствие их независимости от наземных служб. Такая автономность и постоянная точность определения навигационных элементов на всем протяжении полета обеспечивают астрономической навигации большое будущее при пилотировании самолетов и космических кораблей. Уже сейчас в космическом полете определение места корабля по небесным светилам представляет неотъемлемую часть работы экипажа.

В будущем, когда начнутся пилотируемые межпланетные полеты, астрономические способы станут основными в определении пространственного положения корабля. Конечно,

технические средства и методы определения навигационных элементов претерпят большие изменения. Экипажу космического корабля потребуются найти минимум три пересекающиеся поверхности (а не линии положения), полученные от различных небесных светил. Поэтому вместе с измерениями угловых положений звезд могут измеряться угловые размеры диаметров и удаленность Солнца и планет Солнечной системы.

Небесные светила останутся основными ориентирами, по которым будет осуществляться космическая навигация.

Астрономия существует тысячелетия, авиация — всего десятки лет. Кажется, древность и юность соединились в одно целое, породив новую науку, технику и практику — авиационную астрономию.

работа!) была проделана до меня великими умами, астрономами и математиками, которые открыли и разобрали всю науку мореплавания и составили таблицы в «Кратком руководстве». Я только помнил чудо: я умел понимать язык звезд, и они указывали мне то место на море, где я нахожусь... Я был вестником небес! Я переводил небесные речи на удобопонятный язык. Небо управляло нами, и я был тем, кто умел читать небесные знамения! Я! Я!

Теперь, когда восторг мой стал более умеренным, я спешу разъяснить полную простоту всего этого, разболтать тайну Роско и всех сведущих в мореплавании людей и прочих священнослужителей. Открываю я тайну из страха, что уподоблюсь им, сделавшись скрытным, бесстыдным и самоупоенным. Выскажу теперь все: любой юноша с нормальным серым веществом мозга, нормальным вос-

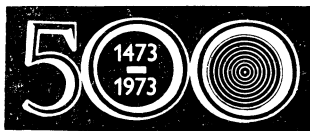
питанием и обыкновенными способностями может добыть книги, карты, инструменты и научиться мореплаванию. Не поймите меня превратно. Стать моряком — другое дело. Этому не научиться в один или два дня, на это нужно убить годы. Поэтому плавать с помощью лага можно только после длительной учебы и практики. Но плавать, ориентируясь по Солнцу, Луне и звездам, стало, благодаря усилиям астрономов и математиков, детской игрой. Любой юноша может научиться этому в неделю. Еще раз прошу — не поймите меня превратно. Я не хочу сказать, что по истечении недели такой юноша сможет взять на себя управление пароходом водозмещением в пятьдесят тысяч тонн, который идет со скоростью двадцати узлов в открытом море, мчась от одного материка к другому и в хорошую погоду и в шторм, при ясном и при облачном небе, руководясь

компасом и направляясь к земле с возможной точностью. Я хочу сказать только, что юноша, о котором я говорил, может сесть на надежное парусное судно и отправиться в плавание по океану, совсем не будучи знаком с навигацией, и по прошествии недели он настолько ознакомится с ней, что в состоянии будет определять по карте то место, где он находится. Он сможет вполне точно определить меридиан, а узнав его, он через десять минут, произведя необходимые вычисления, найдет широту и долготу. У него на борту нет ни груза, ни пассажиров, ничто не заставляет его торопиться поскорее доплыть до цели, он может спокойно плыть, а если он усомнится в своем искусстве мореплавания и испугается, как бы не наскочить на землю, он может лечь в дрейф на всю ночь и только с наступлением дня пускаться в дальнейший путь».

Профессор
И. Н. ВЕСЕЛОВСКИЙ

От древних представлений – к гелиоцентрической системе мира Коперника





Древних греков интересовали не отдельные факты планетных движений (противостояние, соединение, прямое и попятное движение, стояние и так далее), а само движение в целом, которое можно описать как перемещение с течением времени материальной точки или тела. Естественным для высшего надлунного мира считалось продолжающееся вечно равномерное круговое движение. Платон поставил перед своими учениками задачу — объяснить перемещения планет комбинацией равномерных круговых движений или вращений. Эта задача была решена современником Платона Евдоксом Книдским (408—355 годы до н. э.). Он получил все движения планет, сложив равномерные вращения сфер, на поверхности которых находились планеты; центры этих сфер совпадали с центром Земли (так называемые гомоцентрические сферы).

Суточное движение неподвижных звезд изображалось в виде вращения (с периодом в одни сутки) сферы вокруг оси, проходящей через полюсы Земли. На поверхности этой сферы была вычерчена эклиптика. Чтобы представить движение Солнца, потребовалась еще одна сфера, экватор которой совпадал бы с эклиптикой. Если заставить эту сферу вращаться вокруг оси, соединяющей полюсы эклиптики, и поместить на ее экваторе Солнце, то его движение можно получить, сложив вращения двух сфер; одна из них соответствует суточному, а другая — годовому движению Солнца. С Луной было несколько сложнее: ее орбита не совпадала с эклиптикой и, кроме того, узлы орбиты перемещались по эк-

липтике с 19-летним периодом. Нужно было взять три сферы, вращающиеся с периодами сутки, год и 19 лет, и еще одну сферу, на экваторе которой находилась бы Луна; эта сфера должна заставить Луну перемещаться по орбите в течение одного месяца. Движение остальных планет рассматривалось только по долготе, и его также можно было представить в виде вращения трех сфер.

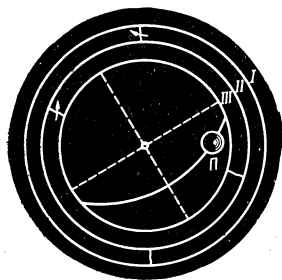
Система гомоцентрических сфер Евдокса — первая механическая (строго говоря, кинематическая) модель планетной системы. Она была проверена и обработана так, чтобы частные движения всех сфер производились от одного двигателя. Это сделал ученик Евдокса Каллипп. Его систему мира одобрил Аристотель, и она продолжала существовать у арабских философов и средневековых схоластов.

В системе Евдокса каждая планета располагалась на своей сфере, центром которой была Земля. Следовательно, находясь все время на одинаковом расстоянии от Земли, планета должна была сохранять одинаковый блеск. Но этому противоречили наблюдения — блеск Венеры значительно изменялся во время движения. На это обратил внимание один из учеников Платона, живший во второй половине IV века до н. э., Гераклید Понтийский. Зная, что Венера никогда не удаляется от Солнца больше чем на 45° , он предположил, что Венера обращается вокруг Солнца. (Так впервые возникла идея эпицикла.) Это предположение было общераспространенным в эллинистическую эпоху вплоть до падения Римской империи. Его не принял Птоле-

мей на основании соображений, далеких от истинной науки: астрология требовала, чтобы все небесные светила вращались вокруг Земли.

Второй непослушной планетой оказался Марс. В противостоянии с Солнцем он был ярче, чем вблизи соединений с ним. Так как противостояния и соединения могли происходить в любых зодиакальных созвездиях, то это значило, что орбита Марса могла охватывать не только Землю, но и Солнце. Это можно было объяснить двумя способами: либо Марс вращается вокруг Солнца, а Солнце вокруг Земли (в этом случае орбита Марса представляла бы так называемый подвижной эксцентр), либо Земля, находясь между Солнцем и Марсом, вращается вокруг Солнца. Обе эти возможности были одинаково вероятны для другого великого астронома античности — Аристарха Самосского (начало III века до н. э.).

До нас дошла книга Аристарха Самосского «О величинах и расстояниях Солнца и Луны». Измеряя угол между направлениями на Луну и Солнце, когда Луна находилась в квадратуре, он нашел, что расстояния Земли от Солнца и от Луны относятся как 19:1. Далее, изучая время прохождения Луны через тень Земли во время лунного затмения, Аристарх сумел определить относительные величины диаметров Солнца, Земли и тени. Оказалось, что отношение диаметра Солнца к диаметру Земли равно приблизительно 19:3. Значит, объем Солнца примерно в $6^3 = 216$ раз превосходит объем Земли. Но если Солнце гораздо больше Земли и все планеты долж-



ны вращаться вокруг материального тела, то гораздо вероятнее, что в центре вращения планет находится Солнце, а не Земля. Так появилась (около 250 года до н. э.) первая гелиоцентрическая теория планетной системы.

Невольно возникает вопрос: почему эта теория не утвердилась? Обычно ход событий связывают с хорошо знакомым процессом Галилея, только вместо католической церкви ставят философскую секту стоиков во главе с Клеантом, который действительно выступал против Аристарха в своих литературных произведениях. Но если великолепно организованная и располагавшая большими материальными средствами католическая церковь не смогла заглушить идеи Галилея даже после того, как он сам был вынужден отказаться от своих воззрений, то проповедующая фатализм секта стоиков тем более не смогла ничего поделать с Аристархом. Дело было в другом.

Теория Аристарха основывалась на двух положениях:

все небесные светила должны вращаться вокруг материального тела; движения вокруг этого тела должны быть круговыми и равномерными.

Оба эти положения оказались несовместимыми. Уже было известно, что истинные продолжительности астрономических времен года отличаются от средней (91 день). Промежуток между весенним равноденствием и летним солнцестоянием составляет 93 дня — столько длится астрономическая весна. На лето приходится 90, на осень 90 и на зиму 92 дня. Эти сведения не были особо точными, разницей в день-два можно было и

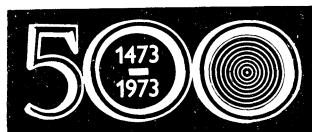
пренебречь, но полученные в начале II века до н. э. более точные вавилонские астрономические наблюдения позволили Гиппарху утверждать, что неравенства продолжительности астрономических времен года существуют и второе основное положение Аристарха не соответствует действительности. Но равномерность круговых перемещений небесных тел считалась основным законом естественного их движения. Чтобы сохранить его, Гиппарх предположил, что неравномерность только кажущаяся и происходит от того, что мы наблюдаем движение небесных тел не из центра, а из какой-то другой точки, иными словами, Земля не является центром, вокруг которого вращается Солнце. Таким образом, Гиппарх пожертвовал первым положением Аристарха, заставив и Солнце вращаться не вокруг материального тела Земли, а вокруг некоторой геометрической точки, местонахождение которой можно было определить по продолжительности астрономических времен года. Любопытно отметить, что через 1800 лет после Гиппарха Кеплер открыл, что планеты вращаются вокруг материального тела (Солнца) не по окружностям, а по эллипсам, и вдобавок с изменяющейся скоростью. Гиппарх ввел в употребление новый вид астрономических орбит — так называемый неподвиж-

ный эксцентр: светило двигалось равномерно по окружности, центр которой перемещался вокруг некоторой неподвижной точки (Земли).

Гиппарх создал теорию движения Солнца вокруг неподвижной Земли и дал методику определения всех необходимых элементов, но движения планет он не касался. Теория их движения была разработана через 300 лет. Ее автор — знаменитый Птолемей (середина II века н. э.). Допуская среднее равномерное движение планеты, Птолемей добавлял к нему некоторые поправки — неравенства. Основных неравенств — два. Одно из них происходит от того, что планета в действительности движется по эллипсу, поэтому в различных участках орбиты скорость ее меняется — неравенство в отношении зодиака. Исправлялось оно введением эксцента, или деферента. Другое неравенство появляется вследствие того, что планету наблюдают с движущейся Земли, так что в некоторых местах планета совершает прямое движение (против хода стрелки часов), в других — обратное, а в отдельных точках останавливается (стояние) — неравенство относительно Солнца. Исправлялось оно с помощью эпицикла. Птолемей предложил также методику определения движения планет по широте. Между прочим, ее почти целиком принял Коперник.

Естествен вопрос, насколько точно определялось положение планеты? Оказывается, в пределах точности наблюдений невооруженным глазом методика Птолемея давала достаточно удовлетворительные результаты. Почему же от нее все-таки отказались?

Гомоцентрические сферы Евдокса. Сфера I изображала видимое суточное движение планеты, сфера II — годовое движение по эклиптике, сфера III, к экватору которой «прикреплялась» планета, — вращение по эклиптике с периодом, равным сидерическому



Ахиллесовой пятой в теории Птолемея было то, что она не могла не только учесть, но даже и математически представить явления прецессии (предварение равноденствий). Точка пересечения экватора с эклипкой перемещалась навстречу движущемуся Солнцу, так что светилу приходилось от одного весеннего равноденствия до другого пройти не полные 360° , а несколько меньше — на $50''$ за год. Известно, что по юлианскому календарю день весеннего равноденствия смещается на трое суток за 400 лет. Первое исправление календаря было сделано на Никейском соборе в 325 году, через 471 год после реформы Созигена (46-й год до н. э.), когда было пропущено три дня. После этого исправлений не делалось и к XVI веку разность достигла примерно девяти дней. Вопрос об исправлении календаря ставился с XIII века; в 1514 году он должен был рассматриваться на Латеранском соборе, но решения принято не было, поскольку, как говорит Коперник, «не имелось достаточно хороших определений продолжительности тропического года и месяца и движения Солнца и Луны... С этого времени я и начал заниматься более точными их наблюдениями, пробуждаемый к тому славнейшим мужем Павлом, епископом Семпронийским». Действительно, начиная с 14 сентября 1515 года (осеннее равноденствие) и 12 марта 1516 года (весеннее равноденствие) идет ряд отмеченных Коперником наблюдений вплоть до 1525 года. Эти наблюдения и легли в основу теории Коперника.

Какой материал из классической древности мог быть известен Копер-

нику? Птолемея он знал по «Эпитоме» Региомонтана, вышедшей в свет в 1496 году. В 1503 году в Ферраре Коперник познакомился с гуманистом Челио Кальканьини — автором опубликованной в 1544 году книги «Каким образом небо стоит, а Земля движется, или рассуждение о вечном движении Земли». После этого знакомства Коперник в принадлежащем ему экземпляре «Естественной истории» Плиния записал: «У Цицерона во второй книге «Академических проблем» сиракузянин Никет, по словам Теофраста, думал, что небо, Солнце, Луна и вообще все, находящееся наверху, стоит неподвижно. Земля, обращаясь и кружась вокруг оси с величайшей скоростью, производит все то, что получилось бы, если бы Земля была неподвижна, а небо двигалось».

В первой книге Коперника «О вращениях небесных сфер» упоминается мнение Марциана Капеллы, что Меркурий и Венера обращаются вокруг Солнца. Из книги Аристарха Самосского, вышедшей в свет в 1498 году, Коперник узнал данную Аристархом величину отношения объемов Солнца и Земли.

Коперник исследовал перемещение точки весеннего равноденствия в течение десяти лет. Точка весеннего равноденствия — геометрическая точка, движение которой можно установить, определяя ее положение по отношению к неизменной системе отсчета. Ею могла быть только совокупность неподвижных звезд. Эту систему отсчета Коперник получил, поместив во второй книге «О вращениях небесных сфер» заимствованный у Птолемея каталог неподвижных звезд, долготы

которых отсчитывались не от точки весеннего равноденствия, а от неподвижной звезды γ Овна. Такой каталог можно рассматривать как вечный, а звездное небо остановившимся, но зато Земля должна вращаться вокруг своей оси. Это не было существенной новостью: вопрос о вращении Земли вокруг неподвижной оси рассматривался еще учеными древности и уже дебатировался в Краковском университете. После подробного опровержения доказательства неподвижности Земли, данного Птолемеем, Коперник в начале девятой главы первой книги «О вращениях небесных сфер» пишет: «Поскольку ничто не препятствует подвижности Земли, то я полагаю, что нужно рассмотреть, не может ли она иметь несколько движений, так чтобы ее можно было считать одной из планет».

В системе мира Коперника небо неподвижных звезд действительно неподвижно. Земля вращается вокруг своей оси, а Солнце движется по эклиптике, плоскость которой не меняет своего положения относительно неподвижных звезд. Через центр Земли перпендикулярно оси вращения проведена плоскость, которая тоже не меняет своего положения относительно неподвижных звезд. Эта плоскость, а также плоскость, в которой движется Солнце, пересекаясь со сферой неподвижных звезд, образуют небесный экватор и эклиптику. Следовательно, и точки пересечения экватора и эклиптики тоже будут неподвижными. Но одна из них — точка весеннего равноденствия. Поскольку она неподвижна, то прецессионного движения не должно



быть. В действительности оно существует, а это значит, что мы вынуждены отказаться от идеи неподвижности Земли.

Следуя Птолемею, Коперник представлял планетные движения как равномерные круговые по эксцентам и эпициклам. Но он сделал одно серьезное упрощение. Поскольку неравенство относительно Солнца изображалось в виде первого и самого большого эпицикла, то Коперник отбросил его, заменив движением Земли вокруг Солнца. Он применял, правда не формулируя открыто, принцип, называемый теперь принципом Коперника: относительное движение двух тел не изменится, если мы придадим им одинаковые движения.

Пусть мы имеем Землю и какую-нибудь планету, движущиеся вокруг Солнца, и хотим определить, как представится с Земли движение этой планеты. Сообщим и Земле и планете одинаковые круговые движения, равные и противоположные перемещению Земли. Тогда Земля остановится, а к движению планеты добавится круговое движение — движение по эпициклу. Видимые размеры эпицикла будут зависеть от расстояния планеты до Земли: чем дальше планета, тем меньше эпицикл. Таким образом Коперник получил возможность впервые определить относительные расстояния планет от Солнца. Была решена задача, перед которой признавал свое бессилие знаменитый Птолемей.

Коперник подготовил таблицы планетных движений. Они высоко ценились астрономами даже после официального запрещения коперниканства. Однако все вычисления он вы-

полнил по методике Птолемея. В результате этой работы появилась новая гелиоцентрическая система мира, причем даже в двух вариантах. При вычислениях была сохранена по существу старая система евдоксовых сфер (только с центром в Солнце, а не Земле) с эксцентами и эпициклами. Физическая структура этой системы не очень интересовала Коперника, занятого вычислениями. Мы не знаем, были ли сферы Коперника материальными или геометрическими.

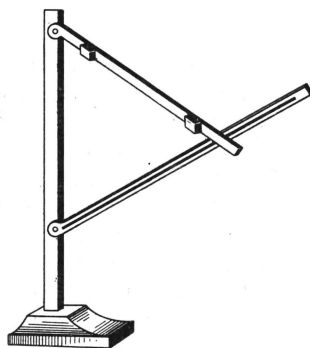
Кроме этой системы в первой книге «О вращениях небесных сфер» Коперник в качестве предварительного наброска дал чертеж, где планетные орбиты, окружающие Солнце, изображались окружностями. О схеме можно сказать, что она, во-первых, была проста, а во-вторых, воспроизводила отброшенную в древности систему мира Аристарха Самосского. Простота схемы очаровала Галилея, который и воспроизвел ее в своих «Диалогах о двух системах мира». Кеплер исправил эту схему: окружности он заменил эллипсами, а равномерное движение — движениями с постоянными секторными скоростями. Полученные Кеплером законы дали Ньютону основу для классической динамики.

■
Николай Коперник (19.II.1473—24.IV.1543 по старому стилю) изучал медицину и его врачебное искусство ценилось настолько высоко, что один из художников изобразил великого астронома с ландышем в руках. Ландыш — эмблема врачебного сословия

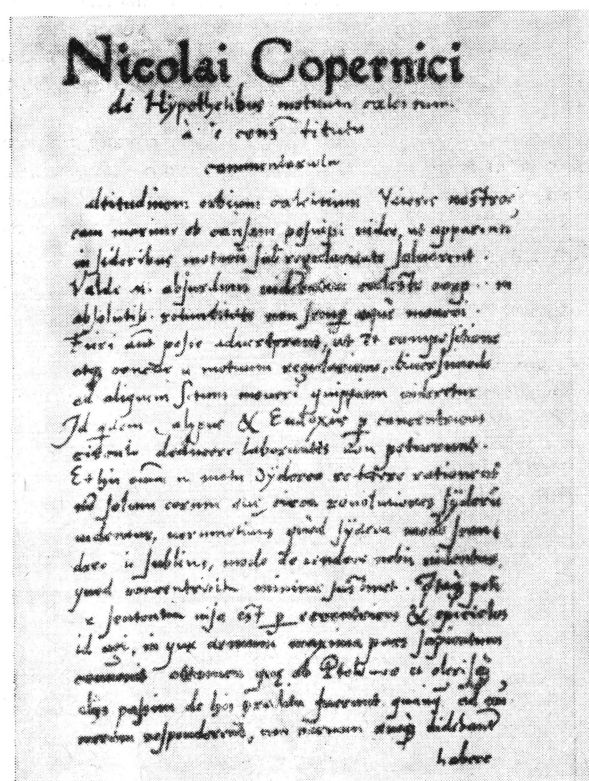
Созданная Ньютоном механика почти исключительно занималась движением материальных точек. Динамикой твердых тел заинтересовались Эйлер и Д'Аламбер во второй половине XVIII века. Однако и в этой области Коперник оказался пионером: его теория движения Земли («тройное вращение») — первая кинематическая модель движения твердого тела. При описании этой модели Коперник указал, что, если сделать угловые скорости двух вращений вокруг параллельных осей не совсем равными, то получающаяся разница может объяснить и прецессионное движение. Это обстоятельство показывает, между прочим, какое значение имела прецессия для Коперника при создании им теории движений планетной системы.

Теория Коперника ликвидировала старые геоцентрические воззрения. Коперник, доказав, что не Земля центр мира, раздвинул пределы Вселенной. Планетные движения представляются гораздо проще, если отнести их к Солнцу, которое и является настоящим центром Вселенной. При этом Коперник ясно сознавал, что его теория — не только математическая гипотеза, позволяющая более удобно описать наблюдаемые явления, но она имеет под собой реальную фактическую основу. Против его теории движения Земли был выдвинут лишь один аргумент — отсутствие параллакса у неподвижных звезд. Но и он отпал в XIX веке, после того как были определены первые параллаксы звезд. С тех пор система мира Коперника из очень вероятной, но все же не вполне доказанной гипотезы, стала бесспорной теорией.

Параллактический инструмент, изготовленный Коперником. С его помощью он определял высоты Луны, Солнца, планет и некоторых ярких звезд. После смерти Коперника инструмент был передан Тихо Браге. Получив его, Тихо Браге написал восторженную оду, которую мы публикуем в переводе Ф. Е. Корша.



Титульный лист и страница рукописи Коперника «О вращениях небесных сфер»



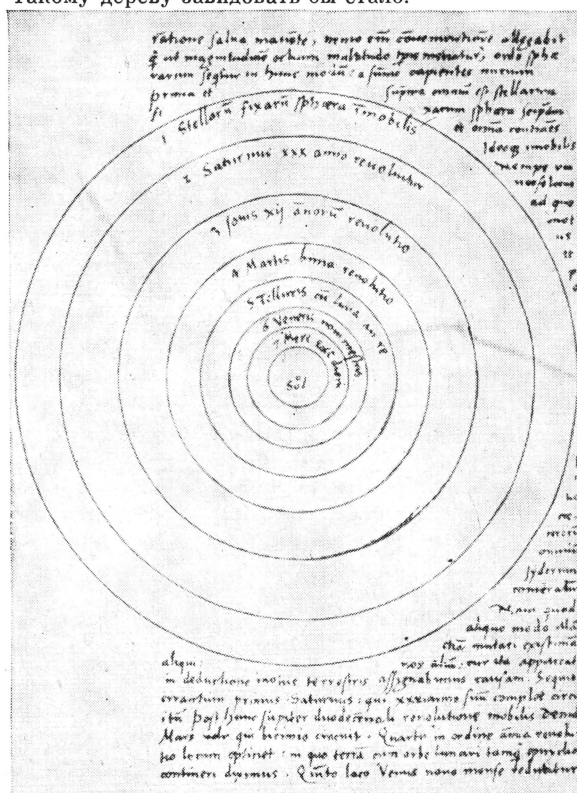
Тот муж, подобного которому веками
Рождаст к доблестям ревнивая земля,
Какого для себя родить чуть могут сами
Светила, хоть они небесные поля
Чрез сколько полюсов и центров пробегают
Кругами без числа и устали не знают,—

Тот, Солнцу кто сказал: «Сойди с небес и стой!»,
Кто Землю на небо, Луну на Землю вскинул
И, весь перевернув порядок мировой,
Скреп мира не расторг нигде и не раздвинул,
А проще не в пример представил и стройней
Нам твердь, знакомую по опыту очей,—

Тот муж — Коперник сам, кого я разумею,
Вот эти палочки, в простой сложив прибор
И им осуществив столь дерзкую затею,
Законы наложил на весь небес простор.
Светила горние во славе их теченья
Кусочкам дерева ничтожным подчинил,
К самым проник богам, куда со дня творенья
Рок смертным всем почти дорогу возбранил.

Каких преодолеть преград не может разум?
Нагроможденные когда-то Пелион
И Осса с Этною, Олимп с другими разом
Горами многими вотще со всех сторон —
Свидетели тому, что силой тела дикой
Гиганты мощные, но слабые умом
Не достигли звезд. Он, он один, великий,
Искавший помощи лишь в разуме своем,
Не мышцы крепкие, а тоненькие жерди
Орудием избрав, возвысился до тверди.

Каких могучих здесь произведение дум!
Хотя по веществу в нем стоимости мало,
Но золото само, когда б имело ум,
Такому дереву завидовать бы стало.



Кандидат физико-математических наук
А. А. ГУРШТЕЙН

Великий Коперник

Мир стоит на пороге знаменательного юбилея: 19 февраля 1973 года исполнится 500 лет со дня рождения Николая Коперника, автора современных гелиоцентрических представлений о строении Солнечной системы, создателя новой астрономии, гордости славянской науки. Идеи Коперника привели к революционному перевороту не только в астрономии, но и во всем естествознании. На протяжении веков имя «великого еретика» Коперника служило знаменем в борьбе передовых ученых против рутины, косности, отживших схоластических догм.

Жизнь Коперника протекала в бурную, противоречивую, богатую событиями эпоху Возрождения.

С гибелью западной Римской империи в V веке н. э. научная деятельность на значительной части европейского континента практически угасла. Население бывших римских провинций — освобожденные рабы и их освободители-варвары бились в тисках голода и разрухи. Эпидемии опустошали города и села. Наследницей рухнувшей империи стала католическая церковь. Ее глава — папа римский — заимствовал многие атрибуты власти римских императоров. По образному выражению английского философа Гоббса, папство «представляет собой не что иное, как привидение умершей Римской империи, сидящее в короне на ее гробу».

Католическая церковь призывает пещься не о бренном бытии тела человека на грешной земле, а аскетическим подвижничеством вымалывать право души найти прибежище в загробном «царствии небесном». Говоря словами кардинала Барония, «на-

мерения святого Духа заключаются в том, чтобы учить нас не тому, как движутся небеса, но тому, как придвинуться к небесам». Церковь вмешивается во все проявления творческой мысли. Ослушников ждет тяжкая кара. Процветают богословие и схоластическая книжная наука.

Однако такое состояние не могло сохраняться бесконечно. Феодальные производственные отношения, сменившие рабовладельческие, облегчают экономическое положение Европы. Развиваются ремесла и торговля. Европейцы заново открывают для себя величие античных архитектурных памятников, достижения науки и искусства древнего мира. Этому способствует также завоевание турками Византии: беженцы из побежденного Константинополя привозят в Европу рукописи древних греческих авторов.

Подъем, начавшийся в разбогатевшей от торговли Флоренции, охватывает всю Европу. Наступает важный период в истории средневековой Европы, который мы называем эпохой Возрождения античных наук и искусств.

Глава из книги «Извечные тайны неба». Книга выходит в начале 1973 года в издательстве «Просвещение». Автор рассказывает в ней о методах астрономических исследований, о богатой событиями истории астрономии, о взаимосвязи астрономии с другими естественными науками — физикой, математикой, механикой. Большое место в книге уделено путям развития современной астрономии и тем перспективам, которые открываются благодаря развитию космических исследований. Текст главы печатается с небольшими сокращениями.

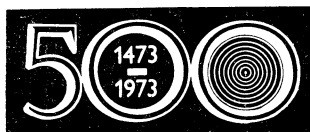
Ослабив пути религиозных ограничений, наука и искусство в Европе в XIV—XV веках за короткие сроки добиваются поразительных успехов. В центре внимания общества оказывается не фанатик веры и аскет, а сам человек, духовно богатый и физически сильный, с его переживаниями и душевными порывами, с его стремлением к подвигу и познанию истины. От латинского слова *humanus* — человеческий — новое течение получает название гуманизма. Люди зачитываются великими гуманистами Данте, Петраркой и Боккаччо.

На протяжении XVI века мир «расширяется» на глазах. Колумб достигает Нового Света. Эскадра Магеллана совершает первое кругосветное путешествие. Европейские мореплаватели с компасом в руках открывают новые океаны и моря, посещают незнакомые острова и материки, невиданные горы и реки, встречая на пути образцы удивительных растений и животных.

Жизнь и гений Коперника целиком принадлежат эпохе Возрождения. Его современниками были Леонардо да Винчи, Колумб, Магеллан, Васко де Гама, Микеланджело и Рафаэль.

Коперник был свидетелем яростных столкновений и раскола в рядах католиков. На его памяти профессор Виттенбергского университета Мартин Лютер прибил к дверям церкви «95 тезисов» и публично сжег папскую буллу. Каноник Коперник был свидетелем и ответной реакции католической церкви — рождения Ордена иезуитов с их беспримерным деизмом «цель оправдывает средства».

События этого бурного времени наложили отпечаток на личность Ко-



перника, научная деятельность которого сама стала едва ли несомой высокой из вершин эпохи Возрождения.

Отец будущего астронома — краковский купец Николай Коперник — поселился в прусском городе Торуни около 1455 года, вскоре после освобождения его от власти рыцарей Тевтонского ордена.

Время на границах Польши было беспокойным. Тевтонский орден при поддержке всего немецкого рыцарства стремился расширить свои владения на побережье Балтийского моря. Рыцари поработали коренное население полабских и балтийских славян, захватывали их исконные земли. В битве при Грюнвальде в 1410 году Орден получил жестокий удар от объединенных сил поляков, литовцев и русских, но борьба с захватническими набегами рыцарских отрядов в прибалтийских землях не утихла.

В Торуни у купца Коперника родилось четверо детей, но вырастить всех он не успел. Младший его сын, тоже Николай, лишился отца в десятилетнем возрасте. Воспитание способного мальчика взял на себя его дядя, брат матери, каноник, а вскоре и епископ Вармийской епархии.

Вармия — большое владение на границах Польши и Тевтонского ордена — имела права самостоятельного княжества, но признавала вассальную зависимость от Польши. Положение епархии было настолько своеобразным, что деятельность вармийского епископа и управляющего епархией капитула была непростой. Вармийский епископ должен был не столько играть роль духовного пастыря, сколько быть опытным диплома-

том и смелым военачальником. Лукаш Ваченроде, воспитатель подрастающего Николая Коперника, по-видимому, сочетал в себе эти качества. Он учился в нескольких университетах, много читал, был умен и энергичен. Те же качества Лукаш Ваченроде хотел привить и своему племяннику.

Епископ обладал крутым нравом, жизнь сделала его замкнутым и сумрачным, но к любимому племяннику Лукаш Ваченроде относился с сердечной теплотой. Благодаря заботам дяди, Николай Коперник получил отличное образование. Дядя сам обучил юношу древним языкам. На двенадцатом году жизни Николай Коперник отправился в столицу Польши Краков, где поступил на факультет свободных наук знаменитого Ягеллонского университета. Именно в Кракове проявился интерес Коперника к астрономическим исследованиям.

В дальнейшем, даже будучи заочно избран каноником Вармийской епархии, Коперник продолжал образование в Болонье, Риме, Падуе и Ферраре. В Италии — родине средневекового гуманизма — он познакомился со многими видными учеными своего времени. Здесь же он узнал о высказываниях Аристарха Самосского и других античных авторов, которые оспаривали правильность учения о центральном положении Земли во Вселенной.

В конце 1503 года тридцатилетний Николай Коперник — доктор канонического права, медик, художник, математик и астроном — возвращается навсегда в Польшу.

Жизнь Коперника протекает в замке Лидзбарк — резиденции дяди-

епископа, но он часто посещает и Фромборк, где пребывал Вармийский капитул. После смерти дяди Коперник переезжает во Фромборк и поселяется в одной из башен Фромборкского собора, используя по ночам прилегающую крепостную стену в качестве «домашней» обсерватории. Коперник наблюдал с помощью небольших деревянных инструментов, построенных им самим. «Башня Коперника» во Фромборке сохранилась донныне.

Каноник Вармийской епархии Николай Коперник принимает активное участие в делах капитула, отстаивает интересы своей родины от посягательства рыцарей-крестоносцев. В 1520 году, во время войны между Польшей и Тевтонским орденом, Коперника назначают комендантом отдаленной крепости Ольштын. Оборона Ольштына под руководством Коперника была так организована, что рыцарям не удалось овладеть этой крепостью.

Коперник много заботится об улучшении экономического положения края, благосостояние которого постоянно подрывается разбойничьими набегами крестоносцев.

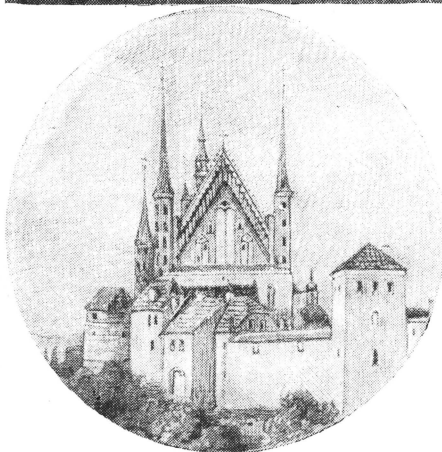
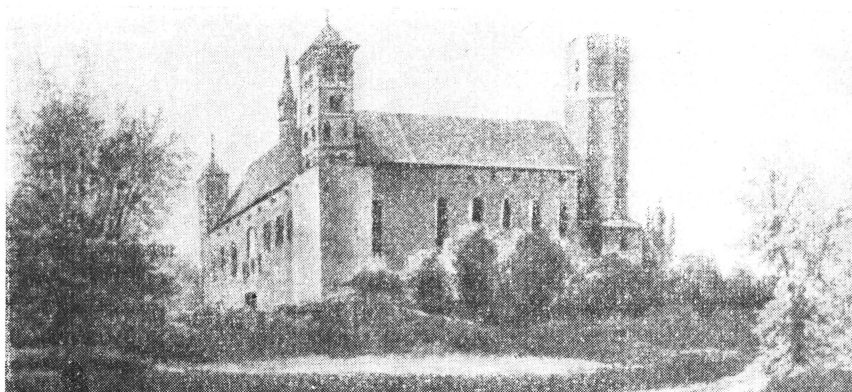
В 1523 году, в связи со смертью очередного епископа, Коперник полгода управляет всеми владениями, выполняя обязанности главного администратора Вармийской епархии. Помимо этого он как врач никогда не отказывает своим согражданам в медицинской помощи. До наших дней сохранились выписанные рукой Коперника рецепты на лекарства.

Но главным в жизни Коперника по-прежнему остается разработка новой теории строения мира.



Еще в Италии он выполнил наблюдения, которые лишний раз заставили его усомниться в правоте теории Птолемея. Разобравшись в тонкостях описания движения Луны с помощью деферентов и эпициклов, Коперник узнал, что во время так называемых квадратур (в первой и последней четверти) Луна, в соответствии с теорией Птолемея, должна находиться вдвое ближе к Земле, чем в новолуние или в полнолуние. Следовательно, она должна казаться вдвое больше. Коперник выполнил измерения лунного диска и убедился, что расстояние между Землей и Луной от квадратур до полнолуния не только не меняется вдвое, но остается практически одинаковым.

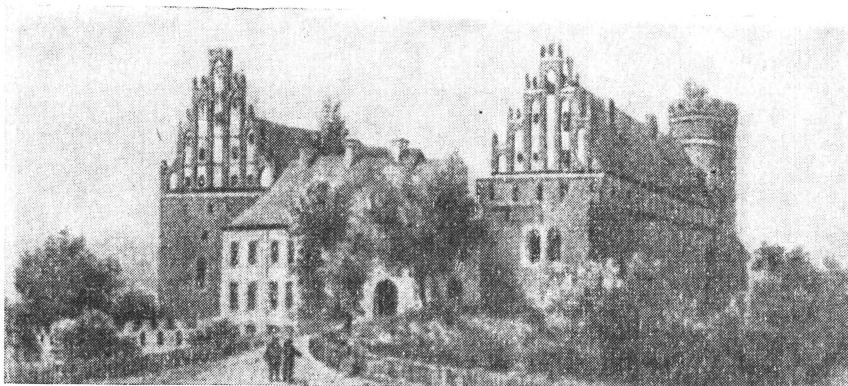
Мысли о том, что Земля — одна из планет — вместе со всеми другими планетами обращается вокруг Солнца, а Луна обращается вокруг Земли, созрели у Коперника, по-видимому, к 1510 году. Коперник нашел объяснение, почему в движениях Солнца и планет есть много общего. Ведь Солнце и планеты, думал Коперник, мы наблюдаем, двигаясь вместе с Землей.

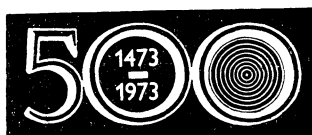


■
Замок Лидзбарк — резиденция епископов Вармии (по рисунку Кваста). В этом замке Коперник провел шесть лет

■
Фромборкский собор, в котором Коперник служил каноником (с гравюры Кваста)

■
Ольштынский замок (по рисунку Кваста). Будучи управителем Ольштынского наместничества, Коперник возглавил оборону города от войск Тевтонского ордена





Конечно, ученым древности было трудно представить, что странные движения планет можно объяснить движением Земли. Им казалось, что если громадная Земля тронется с места, то она так тряхнет все существующее на ней, что ничего не останется.

Коперник мысленно «сдвинул» Землю и «заставил» ее обращаться вокруг Солнца. И петлеобразные движения планет сразу же нашли простое объяснение. Ведь когда смотришь, например, из окна движущейся машины, то и дома и люди одинаково «убегают» назад. На самом же деле дома стоят на месте, а люди идут в разные стороны.

Так и на небе. Мы следим за движениями планет, вращаясь вместе с Землей вокруг Солнца, и поэтому нам кажется, что планеты описывают на небе замысловатые петли. На самом же деле все они обращаются вокруг Солнца.

Коперник не спешил предавать гласности такие крамольные размышления. Только в 1515 году он закончил свою первую небольшую астрономическую работу, называемую обычно «Малым комментарием». Опубликована она не была и сохранилась в рукописных копиях.

«Малый комментарий» и устная молва об удивительных исследованиях фромборкского каноника еще больше укрепили его известность как выдающегося астронома. Но годы идут, а главная книга Коперника, подводящая итог всех его исканий, в печати по-прежнему не появляется: Коперник-ученый безгранично требо-

вателен к своей работе и не щадит сил для ее отделки, Коперник-каноник знает обстановку и осторожен в своих поступках.

Много наслушавшись о необыкновенном польском астрономе, в 1539 году во Фромборк спешит Георг-Иоахим фон Лаухен, прозванный Рэтиком — молодой талантливый профессор математики Виттенбергского университета.

Приветливо встреченный 66-летним Коперником, Рэтик знакомится с рукописью его книги, которая, к величайшему удивлению гостя, оказывается полностью подготовленной к печати. Труд Коперника производит на молодого математика огромное впечатление. Энтузиазм Рэтика не знает границ. В форме письма своему другу он пишет популярную брошюру, излагая основные тезисы нового коперниканского учения.

Доступная рукопись Рэтика «Первое повествование» подготавливает почву для восприятия сложного сочинения Коперника, требующего хорошей математической подготовки. Рэтик преклоняется перед Коперником и с пылом, свойственным молодости, убеждает его безотлагательно опубликовать свое великое творение. Но Коперник вовсе не рвется к славе. Ему чужды расчет и почести, он мудр и не поспешен в своих решениях.

Наконец, после долгих раздумий, Коперник соглашается. Поначалу редактирование текста берет на себя деятельный Рэтик, но впоследствии надзор за подготовкой книги к изданию, за процессом ручного набора,

очень кропотливого и трудоемкого, осуществляет протестантский богослов Андрей Оссиандер. Книга печатается в далеком Нюрнберге.

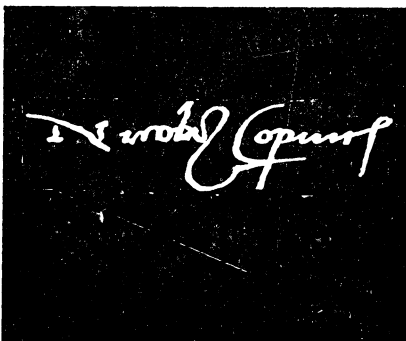
Труд Коперника был снабжен предисловием, в котором он образно изложил и свое отношение к астрономии, и свое кредо ученого. «Из числа многочисленных и разнообразных искусств и наук, пробуждающих интерес и являющихся живительной силой для человеческого разума,— начинает свой труд Николай Коперник,— по моему мнению, с величайшим жаром следует себя посвящать тем, которые исследуют круг предметов, наиболее прекрасных и наиболее достойных познания. Таковыми являются науки, которые изучают чудесные обращения во Вселенной и бег звезд, их размеры и расстояния, их восход и заход, а также причины всех иных небесных явлений, а затем объясняют все строение мира. А что есть прекраснее, чем небо, охватывающее все, что прекрасно?.. Следовательно, если достоинство наук оценивать по их предмету, то, несомненно, первойшей из них была та, которую одни называют астрономией, другие — астрологией, а многие в прошлом — вершиной математики. И не удивительно, поскольку именно эта наука, будучи вершиной свободных наук и наиболее достойной благородно мыслящего человека, опирается почти на все разделы математики; арифметика, геометрия, оптика, геодезия, механика и иные, какие еще могут существовать,— все они являются ее составной частью».

Спустя некоторое время Коперник

дослал в Нюрнберг еще и введение к книге, содержащее посвящение своего труда папе римскому Павлу III. Он хорошо отдаёт себе отчет, сколько разного рода преград предстоит встретить его новому учению. «...Быть может, в будущем появятся пустые зубоскалы, которые, хоть и не смысля ничего в математике, позволяют себе все же на основании какого-нибудь места из священного писания, по злой воле хулить мое учение или нападать на него. Я вовсе не буду этим огорчен, а к их суждениям отнесусь с презрением. Всему миру известно, что Лактанций, знаменитый писатель, но очень слабый математик, говорит совсем по-детски о форме Земли, издеваясь над теми, кто открыл, что Земля имеет форму шара. Поэтому людям науки не следует удивляться, если подобные люди осмеют и меня.»

Оссиандер помещает в книгу посвящение папе римскому, однако исключает первоначальное предисловие Коперника. Он заменяет его своим собственным «К читателю о гипотезах настоящего сочинения», где (в угоду религиозной точке зрения) развивает мысль, что автор вовсе не преследует цели дать обзор мироздания и выяснить истинное положение Земли во Вселенной, а его взгляды являются всего-навсего математической гипотезой, облегчающей расчеты планетных движений. Оссиандер не подписал своего предисловия, и читатель, естественно, должен был заключить, что оно написано самим Коперником.

История осудила Оссиандера как издателя, совершившего подлог. Но



увидела ли бы вообще свет революционная, «еретическая» книга Коперника без той умелой маскировки, которую обеспечивало ей противоречащее всему содержанию книги предисловие Андрея Оссиандера?

Печатание тиражом в 1000 экземпляров сочинения фромборкского каноника затянулось до 1543 года. Наконец, авторские экземпляры «Николая Коперника из Торуня об обращении небесных сфер в шести книгах» покинули стены печатной мастерской. Они достигли Фромборка, когда отличавшийся всю жизнь завидным здоровьем Коперник тяжело заболел и слег. Свою книгу семидесятилетний астроном получил на смертном одре...

Коперника похоронили без излишних почестей в общей могиле под полом Фромборкского собора.

Протестанты, требовавшие неукоснительного возвращения не только к духу, но и к букве Библии, подвергли книгу Коперника насмешкам и осуждению. Это заставляло враждующих с протестантами католиков быть гораздо сдержаннее. Существовали и другие причины: духовный сан Коперника, предисловие Оссиандера, посвящение папе римскому, трудность изложения, требовавшего основательной математической подготовки, — все вместе привело к тому, что книга не была запрещена сразу же после ее выхода. Она попала в католический «Индекс запрещенных книг» лишь в 1616 году, уже после того как учение Коперника стало разящим оружием в руках Джордано Бруно, Иоганна Кеплера и Галилео Галилея.

Профессор
Э. РЫБКА

Астрономия в Краковском университете XV столетия

СРЕДНЕВЕКОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Краковский университет был основан в 1364 году королем Казимиром Великим. Это высшее учебное заведение начинает приобретать известность в начале XV века, в царствование Владислава Ягелло.

В Краковском университете, как и в старейшем учебном заведении Европы — Парижском университете, было четыре факультета: теологии, права, медицины и свободных наук (Facultas artium liberarium).

Обычно к свободным наукам причислялись грамматика, логика и риторика, составлявшие первую ступень обучения, которая называлась по латыни «trivium», и четыре науки второй ступени «quadrivium», входившие в состав математики, — арифметика, музыка, геометрия и астрономия. Кроме них на факультете преподавались метафизика и физика Аристотеля, являющиеся частью натуральной философии.

В средневековом университете занятия со студентами сводились преимущественно к толкованию научных трактатов и комментированию знаменитых трудов прошлого. Часто происходили в университетах диспуты, к которым подготавливались комментarii в форме вопросов. После окончания учебы и получения звания магистра свободных наук можно было продолжать занятия на высших факультетах и добиться степени доктора теологии, права или медицины.

В первые годы XV столетия Краковский университет насчитывал 42 кафедры, из них 22 — на факультете свободных наук. Краковские ученые поддерживали тесные связи с

«В Кракове есть известный университет, в котором много знаменитых и весьма ученых мужей преподают различные свободные искусства. Лучшее всего, однако, там поставлено обучение астрономии. Во всей Германии нет более славной школы, как об этом слышал я от многих лиц».

Г. Шедель «Хроника мира»
(Нюрнберг, 1493 г.)

западно-европейской наукой и были знакомы со всеми новыми веяниями мировоззренческой философии.

Еще в XIII веке в философии развивалось направление, отличное от господствовавшей тогда в университетах философии Аристотеля. Это направление получило название номинализма. Хотя в основу номинализма были положены труды Аристотеля, оно содержало новые идеи, подготовившие переход к новому мировоззрению. Интерес к метафизике ослабевал, а на ее место приходили проблемы, связанные с изучением природы. Среди них первенствующей стала проблема движения, получившая новое толкование в работах парижского ученого Жана Буридана.

Буридан создал теорию движения, существенно отличавшуюся от учения Аристотеля. По Аристотелю, для того чтобы тело могло перемещаться, должна непрерывно существовать причина движения — двигатель. В средневековье двигателями небесных сфер, к которым, якобы, были прикреплены планеты, считались ангелы. Буридан учил, что в постоянном воздействии на движущиеся тела нет необходимости, так как тела перемещаются благодаря «импету» (импуль-

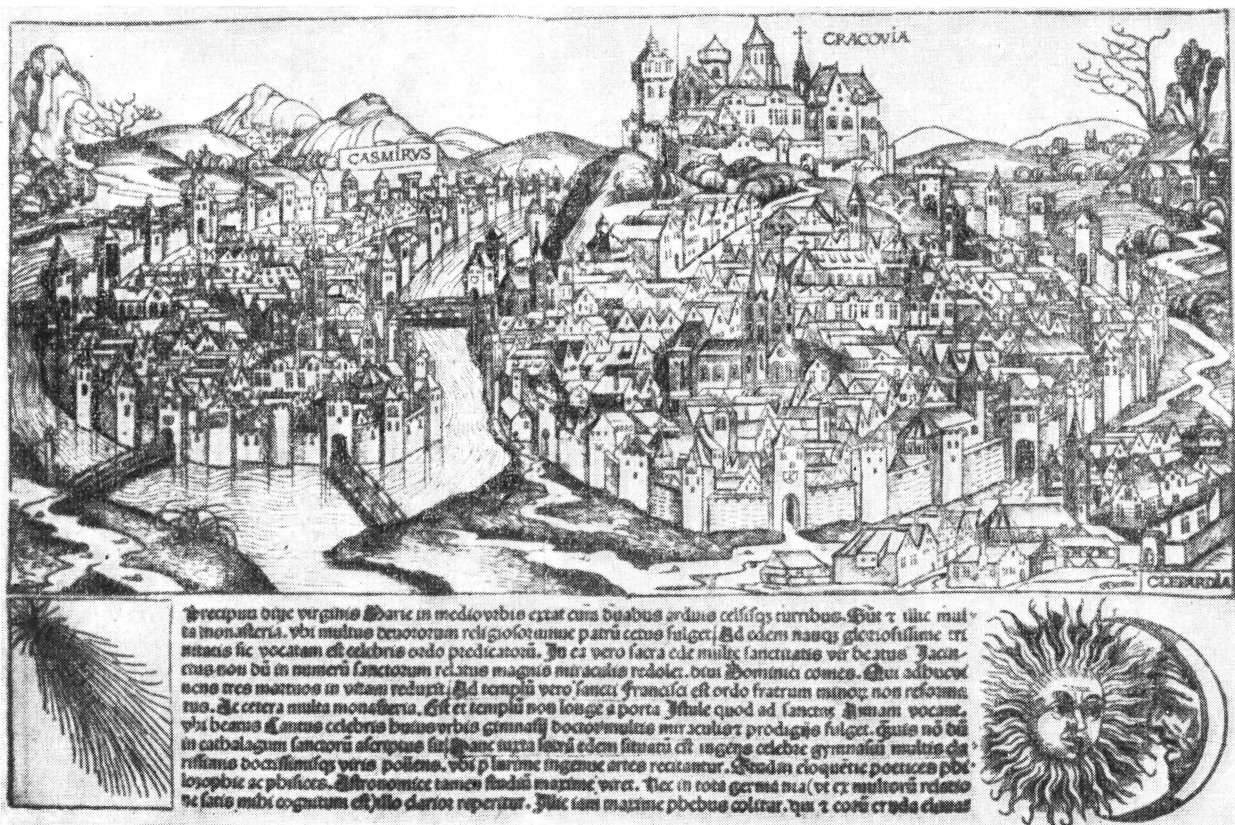
су), приобретенному ими в начальный момент движения. Небесным сферам Бог при сотворении мира передал «импет», который и удерживает их в вечном вращении. Ученик Буридана Николай Орем приводил даже аргументы в пользу движения Земли, правда, он тотчас же отказался от них как от несовместимых с буквальным трактованием Библии.

Учение Буридана и его последователей часто комментировалось в Краковском университете в первой половине XV столетия. Это несомненно способствовало поискам новых путей в разрешении проблемы движения небесных тел.

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ НАУКА В СЕРЕДИНЕ XV СТОЛЕТИЯ

Астрономия в средневековой Европе развивалась преимущественно под влиянием арабской астрономии. «Альмагест» Птолемея был переведен с арабского на латынь Герардом из Кремоны в 1175 году. Во второй половине XIII столетия в Толедо по поручению короля Альфонса X Мудрого составляются новые астрономические таблицы. Альфонсинские таблицы, переработанные в XIV веке в Париже, служили руководством для всех астрономов до половины XVI столетия, пока не были вытеснены более точными «Прусскими таблицами», составленными Рейнгольдом на основании теории Коперника.

В середине XV столетия европейские ученые смогли ознакомиться с оригинальным греческим текстом «Альмагеста». Тогда же венский астроном Георг Пурбах (1423—1461) начал писать обширное резюме «Альмагеста». Завершил эту работу его



ученик Иоганн Мюллер, известный под именем Региомонтана (1436—1476). Монументальный труд Региомонтана вышел из печати через 20 лет после его смерти.

Известность в научных кругах Европы Пурбаху принес учебник по движению планет «Новые теории планет» («Theoricæ novæ planetarum»). Учебник был написан на основании работ Альгазена (Ибн аль Хайтам, около 965—1039), полагавшего, что мир построен из хрустальных сфер, которые соприкасаются и таким образом передают вращательное движение от одной сферы другой. «Новые теории планет» часто издавались и неоднократно комментировались.

Краков эпохи Коперника. Внизу — похвала Краковскому университету. (Рисунок заимствован из «Хроники мира» Г. Шеделя)

В XV веке труды Пурбаха и Региомонтана были основным источником сведений о птолемеевской системе мироздания. Их распространение в Европе внесло заметное оживление в область астрономических исследований и, конечно же, оказало благотворное влияние на развитие астрономии в Краковском университете.

ПЕРВАЯ КАФЕДРА АСТРОНОМИИ В СРЕДНЕВЕКОВОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Около 1405 года на факультете свободных наук Краковского университета открылась кафедра математики и астрономии. Подобной кафедры не было ни в одном из европейских учебных заведений. Средства на учреждение новой кафедры пожертвовал зажиточный краковский мещанин Стобнер. Неизвестно точно, кто

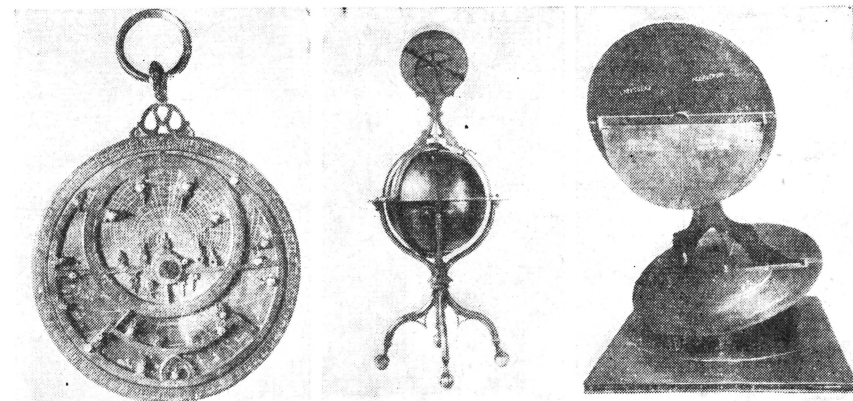
был первым профессором этой кафедры. Однако мы знаем, что в круг его обязанностей входило преподавание таблиц движения планет, предсказание затмений и подготовка календарей с астрономическими и астрологическими данными. Кроме того профессор читал лекции по геометрии, оптике и музыке, если в университете не было преподавателей этих наук.

Основными астрономическими учебниками в то время были: «О сфере» Сакробоско (Джон Галифакс) и «Теории планет» Герарда из Саббионетты. Оба учебника написаны по арабским источникам. В Краковском университете сохранилась запись, что в 1420—1427 годах Вавжинец из Рацибожа читал лекции по «Теориям планет» Герарда из Саббионетты. Возможно, он занимал тогда кафедру математики и астрономии.

Основателем краковской астрономии следует считать Мартина Круля из Журавицы. Он воспитал многочисленных учеников, создав плеяду краковских астрономов и астрологов. В 1445 году Мартин Круль стал профессором кафедры математики и астрономии. Затем он несколько лет преподавал астрономию в Болонском университете. С 1450 по 1460 год Мартин Круль — снова профессор Краковского университета. Главным его научным трудом был комментарий к Альфонсинским таблицам («Summa super Tabulas Alphonsi»), в котором Мартин Круль отметил, что положения планет, вычисляемые по этим таблицам, не соответствуют наблюдаемым. Он пытался исправить замеченные им неточности таблиц.

Большое значение имело основание в 1459 году в Краковском университете кафедры астрологии. Теперь мы считаем астрологию лженаукой. Ученые средневековья относились к ней иначе. Почти аксиомой было убеждение, что совершенные небесные тела — местопребывание божественных существ — влияли на ход земных событий. Астрологию называли даже практической астрономией, в отличие от подлинной астрономии, которая иногда именовалась теоретической, поскольку главной ее целью было вычисление положений небесных светил. Обе астрономические кафедры Краковского университета дополняли друг друга и стали основой астрономических наук в Кракове в XV столетии.

Краковские астрономы и астрологи второй половины XV столетия работали не только в родном университете, но и далеко за пределами Поль-



ши. Известный польский астроном Мартин Былица из Олькуша, бывший, по-видимому, первым профессором кафедры астрологии, в 1463 году преподавал астрономию в Болонском университете. В 1464 году в Риме он познакомился с Региомонтаном. Дискуссия этих двух астрономов о «Теории планет» Герарда из Саббионетты с намеком на недостатки учебника нашла свое отражение в трактате Региомонтана. Находясь за пределами родины, Мартин Былица поддерживал тесную связь с Краковским университетом, которому завещал много рукописей и весьма ценных инструментов: арабскую астролябию 1054 года и изготовленные в Вене в 1484—1487 годах астролябию, большой небесный глобус из бронзы с изящно отделанными созвездиями и очень редкий средневековый инст-

румент — торкветум*. Эти инструменты хранятся в музее Ягеллонского университета в Кракове.

«ЗОЛОТОЙ ВЕК» КРАКОВСКОЙ АСТРОНОМИИ

Расцвет краковской астрономической школы начинается после 1470 года, когда лекции краковских ученых стали привлекать студентов со всей Европы.

Осенью 1491 года в «Album Studiorum» Краковского университета появилась запись о поступлении на факультет свободных наук будущего реформатора астрономии Николая Коперника. Сколько лет занимался

* Торкветум, или туркетум — турецкий инструмент, употреблялся для определения эклиптических координат небесных светил. Инструмент содержал диски, изображающие плоскости небесного экватора и эклиптики, а также круг для отсчетов широт. От армиллярной сферы торкветум отличается тем, что небесные круги в нем выполнены в виде дисков, а не сфер.

Средневековые астрономические инструменты, хранящиеся в музее Ягеллонского университета (слева направо): арабская астролябия, небесный глобус и торкветум

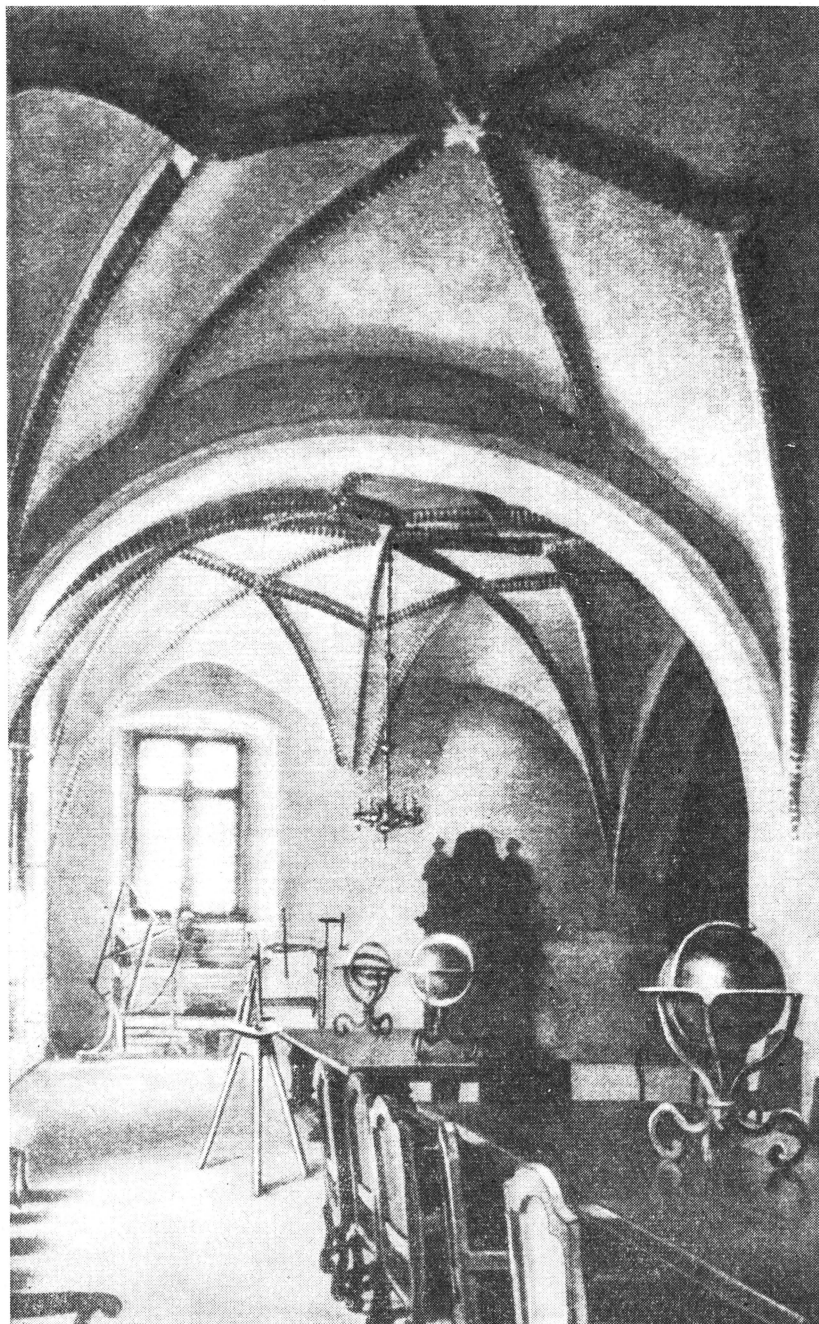
Коперник в Краковском университете, неизвестно. Вероятнее всего, он учился в нем до весны 1495 года.

Во времена Коперника в Краковском университете работали два выдающихся польских астронома Ян Шеллинг из Глогова (1445—1507) и Войцех Бляр из Брудзева, известный еще как Альберт Брудзевский (1445—1495).

Ян из Глогова преподавал в Кракове почти 40 лет — с 1468 по 1507 год. Он был весьма разносторонним ученым. Сохранились его трактаты по теории движения планет и составлению таблиц, астрологии и прочее. Особого внимания заслуживает комментарий Яна из Глогова к краковским астрономическим таблицам («Interpretatio Tabularum Resolutarum») и пояснения, как следует пользоваться астрономо-астрологическими таблицами Региомонтана. Ян из Глогова читал лекции не только на астрономические темы. Он занимался также философией Аристотеля.

В конце XV столетия Ян из Глогова составил «Диспуты по метафизике Аристотеля магистра Иоанна Глоговского» («Disputationes in Metaphysicam Aristotelis magistri Joannis Glogoviensis»). В них он затрагивал различные астрономические вопросы, в частности вопрос о количестве кругов, достаточном для представления небесных движений, и отметил особое положение Солнца среди планет. Он считал Солнце достойнейшей планетой, которая правит всеми движениями планет. Вероятно, этот трактат, предназначенный для так называемых субботних диспутов, был знаком Копернику.

Труды Войцеха из Брудзева были



Сократова аудитория Краковского университета. Здесь слушал лекции Николай Коперник



глубже и самостоятельное. Он славился в Кракове и за пределами Польши как блестящий математик и прекрасный знаток астрономии.

Войцех из Брудзева начал преподавать в Краковском университете в 1474 году. Он читал лекции по философии, астрономии и математике. Ему были хорошо знакомы «Альмагест» Птолемея и многие научные трактаты арабских астрономов, а из средневековых научных трудов — «Новые теории планет» Пурбаха. В 1482 году он написал к книге Пурбаха комментарий, получивший высокую оценку у современных ему астрономов. Этот комментарий вошел в список предметов, которые

Войцех из Брудзева — профессор Краковского университета

В книге «Album studiosorum» есть запись о поступлении Николая Коперника в Краковский университет (осень 1491 года)



ОТВЕТЫ
НА ВОПРОСЫ
ЧИТАТЕЛЕЙ

Сохранились ли рукописи замечательных трудов Коперника? Переведены ли труды великого астронома на русский язык?

Г. Л. ХОМУТОВ. Краснодар

Andreas Johannes de Solomone Johannes
Coprnicus Nicolaus Michael de Thronoma solus tant
Stohannes Stanislav de Cracovia solt tant
de Cracovia solt e ge

регулярно преподавались в Краковском университете. Таким образом «Теории планет» Герарда из Саббионетты были вытеснены в Краковском университете «Новыми теориями» Пурбаха.

Комментируя «Альмагест» Птолемея, Войцех из Брудзева высказал сомнения в существовании сложных сочетаний кругов в теории эксцентриков и эпициклов. Как и приверженцы буридановской школы, Войцех из Брудзева утверждал, что движения имеют относительный характер. Эта точка зрения получила полное развитие в работах Коперника. Войцех из Брудзева понимал, что Солнце занимает особое положение среди планет, но не мог еще отказаться от геоцентрической системы строения мира.

Коперника принято считать учеником Войцеха из Брудзева, хотя вряд ли он слушал его лекции по астрономии: с 1490 года Войцех из Брудзева перешел на теологический факультет Краковского университета, где занял кафедру для изучения философских

трудов Аристотеля. Однако астрономии на факультете свободных наук преподавали ученики Войцеха из Брудзева, которые излагали мысли и идеи своего учителя. Не исключено, что Коперник был знаком с Войцехом из Брудзева. Во всяком случае, он присутствовал на его лекциях о трудах Аристотеля и в своей книге «О вращении небесных сфер» использовал работы Войцеха из Брудзева. Поэтому можно утверждать, что основы астрономических знаний Коперника были заложены Войцехом из Брудзева и созданной им астрономической школой.

Один из современников Коперника написал в 1542 году: «Николай Коперник, каноник вармийский, ...начала своих достойных восхищения математических трудов, которые он уже сочинил и которые в еще большем количестве намерен опубликовать, почерпнул из нашего (Краковского — Ред.) университета, чего он не только не отрицает, ...а напротив, признает, что всем, чем он есть, он обязан нашей Академии».

В Краковской публичной библиотеке хранится в резной деревянной шкатулке с серебряными украшениями рукопись бессмертного труда Николая Коперника «О вращении небесных сфер». Это произведение впервые было опубликовано на русском языке издательством «Наука» в 1964 году. Перевод выполнил профессор И. Н. Веселовский. В книгу включен не только основной труд Коперника, но и «Малый коммента-

рий» (в этом рукописном произведении Коперника содержалось краткое описание гелиоцентрической системы мира) и «Первое повествование» (так называлась брошюра Рэтика, в которой были впервые напечатаны основы учения Коперника). Общую редакцию русского перевода выполнил академик А. А. Михайлов. Ему же принадлежит помещенная в книге статья «Николай Коперник. Биографический очерк».

Польская земля — земля Коперника

«Шлях Коперника» — так назывался международный симпозиум-пленэр, организованный в 1971 и 1972 годах Польским Союзом художников и Ольштынским воеводством.

В дни празднования 500-летнего юбилея Николая Коперника дорога от Торуня до Фромборка — городов, где родился и умер великий польский астроном, превратится в огромную художественную галерею. Как лучше украсить к юбилею города, связанные с жизнью и деятельностью Николая Коперника? Эту задачу должны были решить приглашенные на симпозиум живописцы и скульпторы, графики и монументалисты, керамисты и архитекторы из Польской Народной Республики и других стран. В работе симпозиума участвовали два советских художника — Петрос Малаян и автор этих строк.

Путешествие по Польше сопровождалось встречами с трудящимися, учеными, государственными и партийными деятелями. И поскольку на симпозиуме собрались художники и архитекторы разных идейных направлений и школ, то часто возникали горячие споры о социальной сущности искусства, его идейной направленности, о месте художника в обществе. Споры должны подтверждаться практической работой. И где бы ни были участники симпозиума — на севере или на юге страны, в ее прекрасной столице или маленьком хуторе, карандаш все время бежал по бумаге и линии, цепляясь одна за другую, цепко вязались в композиционные построения. Каждый участник вел своеобразный дневник в рисунках. В нем можно найти зарисовки современной жизни Польской Народной



Республики и ее славного прошлого — городов и мест, связанных с именем Николая Коперника.

Земли Вармии и Мазура, где прошла почти вся жизнь великого астронома, — край пущ и озер. Эти места имеют давнюю историю.

Город Торунь, в котором родился Коперник, расположен на Висле. Город основан в XIII веке и почти без изменений сохранился до наших дней. Несомненно, Коперник видел и

готический костел св. Иоанна, и костел Девы Марии, а в костеле св. Якова на улице Жеглярской Николай учился в школе.

К северу от Торуня расположены небольшие города, в которых бывал Коперник: Влоцлавек, Старогард-Гданьски, Гнезно и Калиш.

Старые соборы Ольштына неоднократно принимали под свои своды Николая Коперника. В этом городе он провел несколько лет, управляя Ольштынским наместничеством. Во время войны Польши с Тевтонским орденом Коперник руководил оборо-

Г. Чермушкин. «Краков»

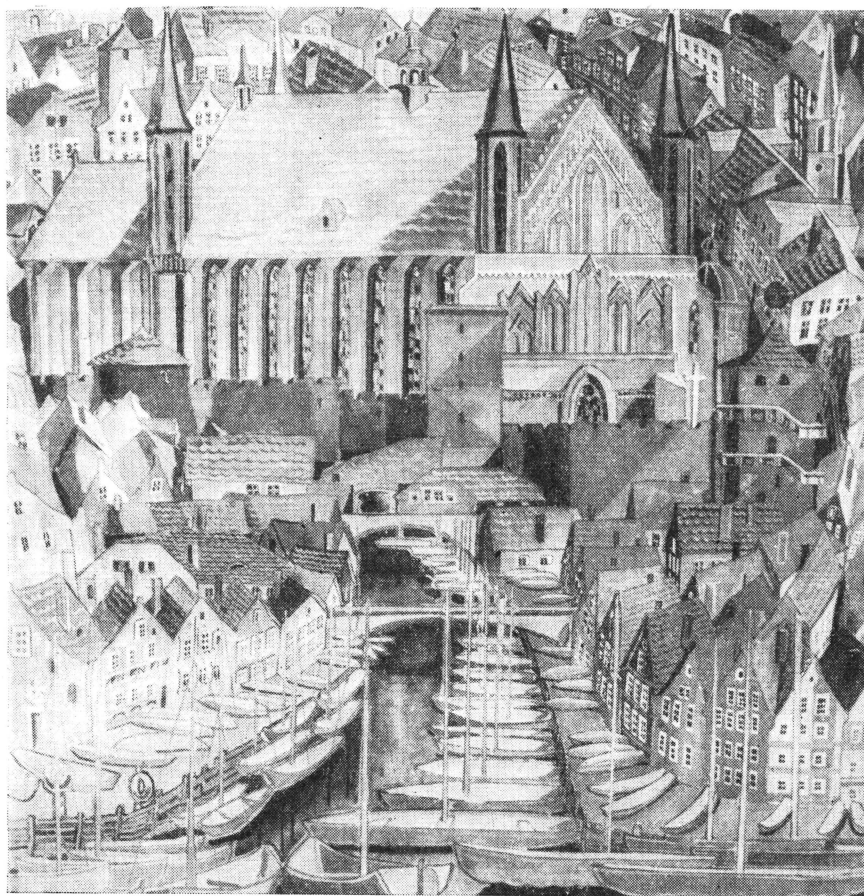
ной города. Тевтонские рыцари так и не сумели взять город. Жил Коперник в Ольштынском замке. Сейчас в нем помещается музей Николая Коперника. Здесь же устроена выставка работ художников — участников симпозиума-пленэра.

По дороге во Фромборк невозможно миновать небольшой городок Лидзбарк Вармийский — бывшую резиденцию епископов Вармии. Дом епископов — внушительное здание, интересное по архитектуре, с обширным внутренним двором и галереей, из которой идут входы в залы замка. Его называют «Версаль севера». Шесть лет прожил в замке Коперник у своего дяди Лукаша Ваченроде. Здесь был задуман его великий труд о системе мира и появились первые черновые наброски сочинения «О вращении небесных сфер».

Конечный пункт путешествия — город Фромборк, раскинувшийся близ берега Балтийского моря. Над городом возвышается огромный кафедральный собор, обнесенный высокой оборонительной стеной со сторожевыми башнями. В одной из башен Коперник устроил обсерваторию. Он сам изготовлял инструменты для наблюдения Солнца, планет, ярких звезд. Во Фромборке Коперник закончил рукопись «О вращении небесных сфер», которая вышла из печати в год смерти ученого.

Николай Коперник прожил 70 лет 3 месяца и 5 дней, из них в Вармии — 40 лет. Благодарные потомки воздвигли своему соотечественнику памятник в Варшаве. На постаменте высечены слова: «Он остановил Солнце и сдвинул Землю!».

Г. В. ЧЕРЕМУШКИН





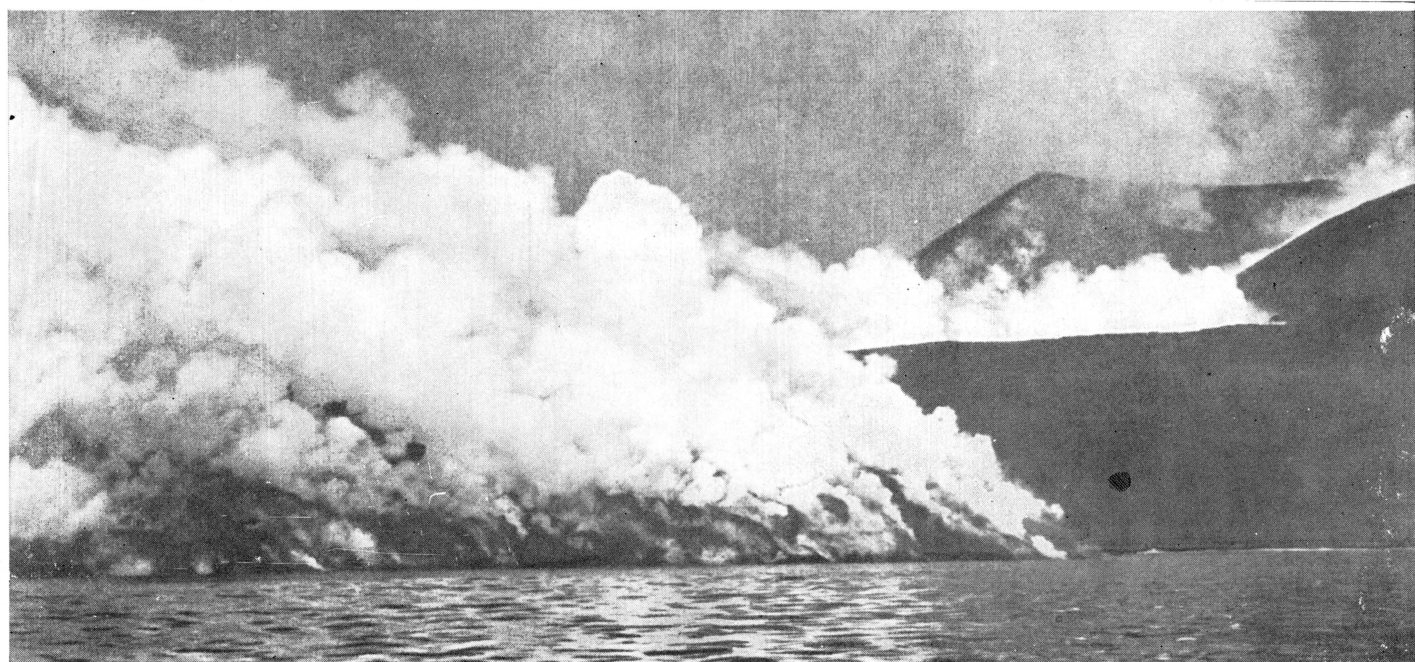
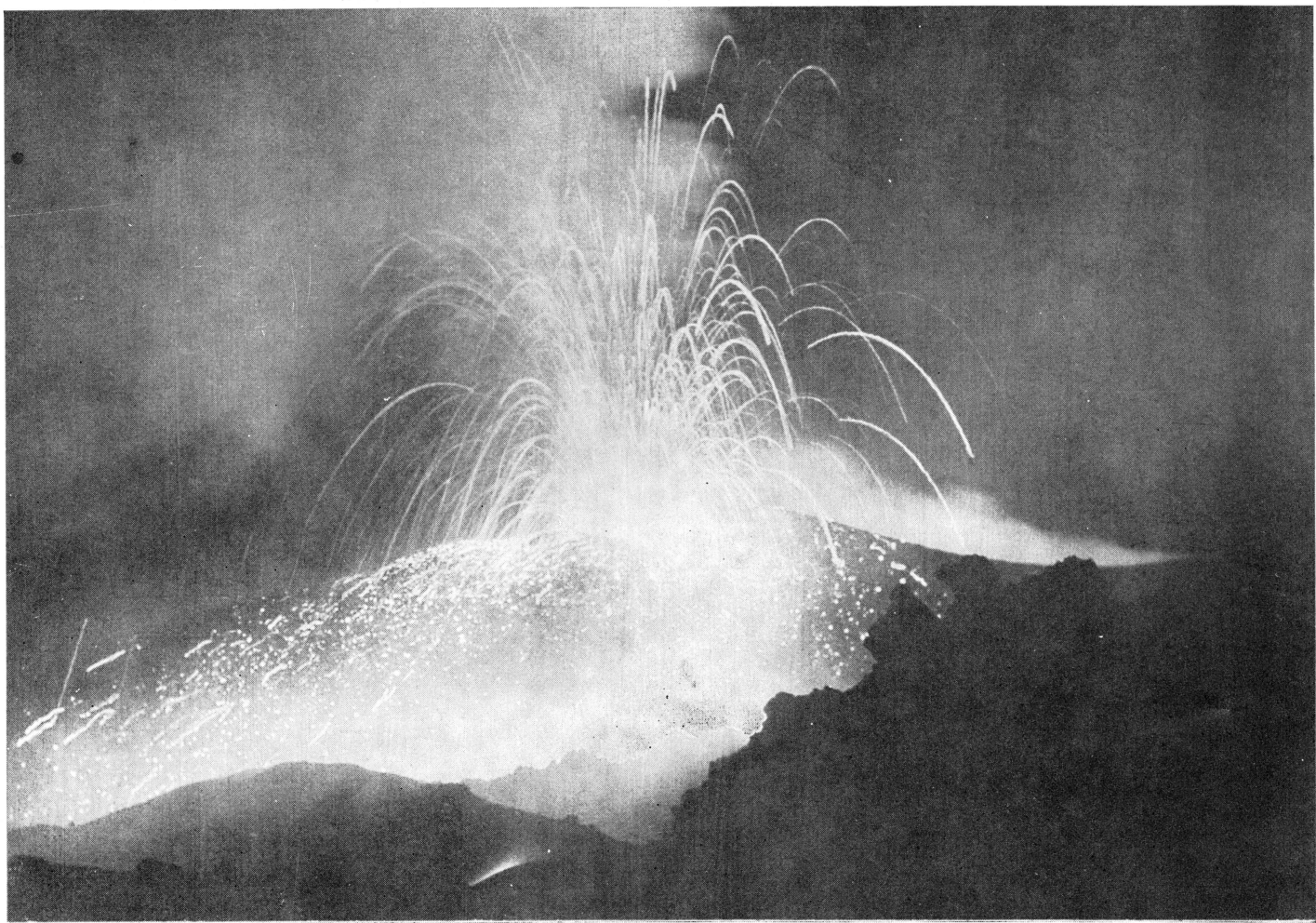
■
Г. Черемушкин «Фромборк»

■
П. Малаян «Ольштын»

■
Г. Черемушкин «Торунь»

■
Г. Черемушкин «Польская земля —
земля Коперника»







Извержение вулкана Алаид

Алаид давно известен подводными извержениями. Последнее сильное извержение произошло в 1933/34 году. И вот почти через 40 лет, 19 июля 1972 года, над конусом дремавшего острова поднялся облачный многоэтажный гриб. Высота пеплового облака достигала 8,5 км.

Все лето в трех километрах от места нового бующего кратера, в бухте Отраги, работала экспедиция Института вулканологии АН СССР. Эту экспедицию назвали «Алаид». Огромный наблюдательный материал о режиме извержения, потоках лавы, ее химическом составе сейчас обрабатывается учеными. Вездесущие репортеры, побывавшие на Камчатке в это время, дали новому кратеру имя «Олимпийский». О научных результатах исследований, проведенных в самом близком соседстве с огненными (1000—1100° С) языками лавы, читатели узнают из следующих номеров журнала «Земля и Вселенная».

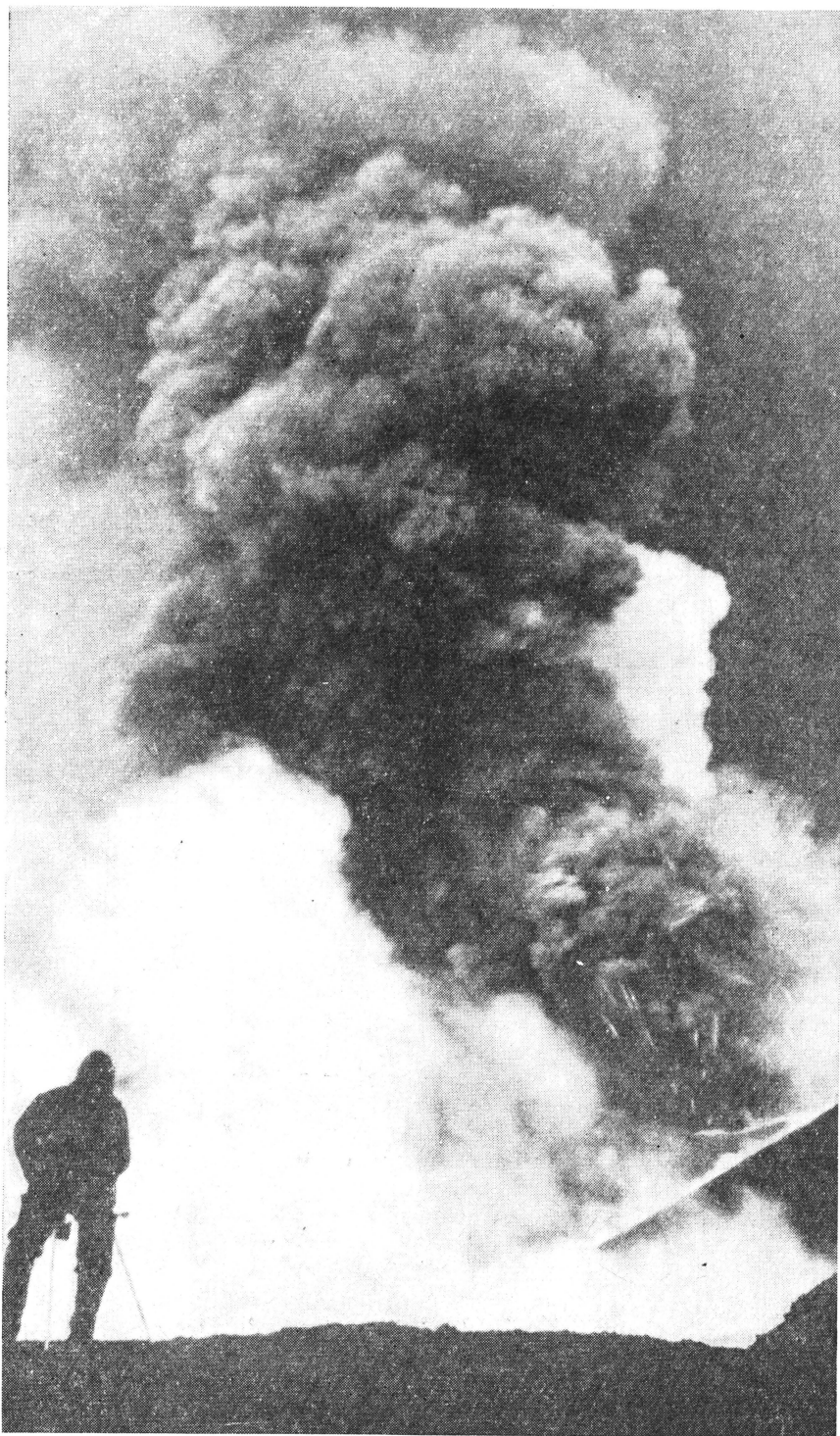
И. В. ВАЙНШТЕЙН

НА ВКЛЕЙКЕ

■ Прорыв «Олимпийский» ночью
(верхний снимок)

■ Поток огненной лавы около километра шириной стремится в море. Остывая, лава наращивает остров Атласова на 2 квадратных километра. За одну неделю шлаковый конус кратера «Олимпийский» изменил ландшафт острова. Конус виден на втором плане снимка

■ Громадная пепло-газовая туча — вулканическая «цветная капуста». Она разрастается с каждым очередным взрывом и тянется вверх на много километров





ЭКСПЕДИЦИИ

Доктор геолого-минералогических наук

Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ

Югославский карст

За последние годы мне трижды удалось побывать в Югославии. Вместе с югославскими геологами прошли мы по ее территории несколько тысяч километров. Я познакомился с очень разными ландшафтами этой интереснейшей страны — с Адриатическим побережьем, на котором чередуются длинные скалистые мысы и глубоко вдающиеся в берег бухты, с белыми известняковыми горами Динаридами, стеной обрывающимися к синему морю, с аккуратно прибранными горными лесами Словении и дикими выжженными холмами Македонии. Большие и малые города, фабричные поселки и глухие деревни, люди разных национальностей, населяющие Югославию, — сербы и черногорцы, хорваты и словенцы — все это прошло перед глазами.

Так уж повелось, что у возвращающегося из дальней поездки, особенно заграничной, всегда спрашивают: что произвело на него самое большое впечатление? Спрашивали это и у меня после возвращения из Югославии, с готовностью подсказывая: конечно, Адриатика. Но уже после первого посещения, в 1967 году, я отвечал, — к удивлению спрашивающих — что нет, не Адриатика, а югославский карст. Последующие поездки лишь укрепили меня в этом мнении. А так как мне кажется, что причины, заставляющие делать такой вывод, имеют общий интерес, я и решил написать очерк о югославском карсте, о его природе и его людях.

Но прежде чем говорить об этих причинах, надо рассказать о карсте вообще, ибо вряд ли о нем хорошо знают читатели научно-популярных журналов.

«Карст — явления, возникающие в растворимых водой горных породах и связанные с химическим процессом растворения последних». Таким, редакционно не слишком удачным определением начинается статья о карсте во втором издании «Большой Советской Энциклопедии». Термин «карст» обозначает сочетание ряда физико-геологических и географических особенностей, приводящих к возникновению весьма своеобразного ландшафта. Происходит этот термин от названия местности: Карстом называется плато в северо-западной Югославии, в Словении, к северу и северо-востоку от полуострова Истрия; карстовые процессы на этом плато выражены настолько отчетливо, что ученые приняли их в качестве эталонных для всего явления в целом.

Что же все-таки представляет собой карст, если говорить о нем не энциклопедическим языком? Для начала обратимся к геологической предыстории формирования карста. Известно, что в поверхностных слоях земной коры широко распространены карбонатные породы, то есть горные породы, главные минералы которых являются солями угольной кислоты (H_2CO_3); наиболее часты среди них кальцит и доломит. Образование этих горных пород тесно связано с морскими бассейнами; на дне их в некоторых случаях отлагаются сплошные толстые слои рыхлых карбонатных илов. Преобразуясь в течение миллионов лет, они превращаются в плотные известняки, доломиты, мел. В результате химических процессов все эти породы сравнительно легко растворяются водами.

Обычно на морском дне осаждаются не только карбонатные илы: они чередуются с песчаными, глинистыми, кремнистыми илами, дающими начало песчаникам, глинам, сланцам, диатомитам. Эти породы не растворяются в воде, и карст здесь поэтому не возникает.

Однако в геологической истории далеко не редкими были случаи, когда в течение нескольких геологических эпох подряд (то есть в течение нескольких десятков миллионов лет) в одном и том же обширном морском бассейне существовали условия, при которых на его дне отлагались исключительно, или почти исключительно, карбонатные илы. В этих случаях мощность образовавшихся известняков, доломитов и других карбонатных пород иногда бывает поистине огромной, достигая 5, 6, 7 и более километров*.

Посмотрим теперь, что происходит, когда море отступает, а бывшее дно его испытывает поднятие и оказывается под воздействием агентов выветривания — воды, ветра, солнца, мороза. Мы знаем, что главное условие для возникновения карста — это легкая растворимость горных пород. А вода почти всюду есть в изобилии: идут дожди, падает зимой и тает по весне снег. Если это совершается в районах, где распространены нерастворимые горные породы, атмосферные воды собираются в ручейки, которые большей частью уходят за пределы районов своего рож-

* Напомню, что в геологии мощностью горных пород называют толщину их слоев, измеренную по вертикали от верхней до нижней поверхности.

дения; лишь меньшая часть вод просачивается вглубь.

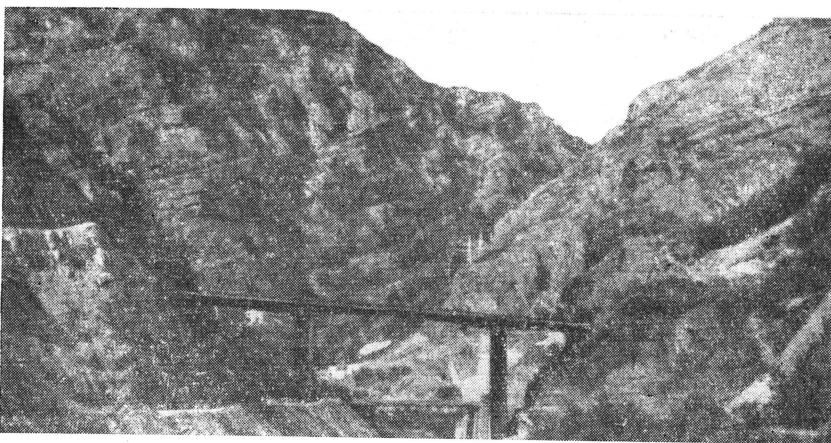
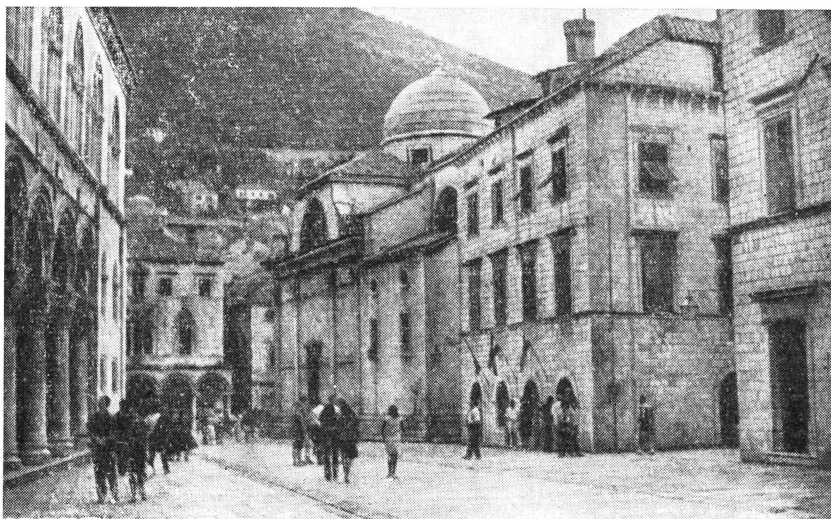
Совершенно иная картина наблюдается на участках развития мощных карбонатных пород. Вследствие легкой их растворимости, атмосферные воды просачиваются на месте — здесь же, где выпадают. При этом, благодаря растворению горных пород, возникает одна из характернейших форм рельефа карстовых областей — замкнутые округлые воронки. Те читатели, которые поднимались на вершины Крымских гор — Яйлы, Чатырдага, Бабугана, Ай-Петри, — вероятно, помнят эти воронки, в изобилии разбросанные по зеленому травяному покрову яйлинских полуравнин, сложенных легкорастворимыми известняками.

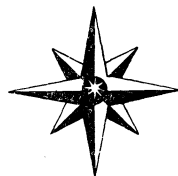
Многие воронки заканчиваются вертикальным провалом — колодезем, по которому дождевые и снеготалые воды проникают дальше в глубину, продолжая на пути свою растворяющую работу. Некоторые провалы достигают большой глубины: на Крымской Яйле более 100 м, на плато Карст в Югославии гораздо больше — 450 м в подземной пропасти

■ *Старые города Адриатики — это сплошной камень. Каменная площадь, каменные аркады монастыря, каменные плиты мостовой, отшлифованные сотнями тысяч ног. Старый Дубровник*

■ *Вот так и стоят поселки на Высоком Карсте — прямо посреди сухой травы и камня. Ни огородов около домов, ни садилов. Черногория*

■ *Ущелье реки Неретвы в Боснии. По дну его проложены железная и шоссейная дороги. На снимке — участок ущелья глубиной около 1 км*





ЭКСПЕДИЦИИ

Бертарелли (Гротта делла Марна), 322 м в Требичском гроте.

Сливаясь, воронки образуют крупные, до нескольких километров в диаметре, понижения неправильных очертаний, называемые полями. Это тоже одна из типичных форм карстового ландшафта, которую не увидишь в других районах.

Типичные же формы наших обычных ландшафтов, и в первую очередь речные, почти не наблюдаются в зонах мощного карста. Лишь некоторые наиболее крупные реки, берущие начало вне карста, способны пронести через него свою воду; хотя много ее уйдет в карстовые пустоты, но сколько-то все же останется. Такова, например, река Неретва в Югославии. Эти реки прорезают глубочайшие узкие ущелья, иной раз всего 100—200 м шириной по низу и до километра глубиной — каньон, в который и заглянуть-то сверху страшно.

Небольшие речки, даже начинающиеся от сильных восходящих родников, как правило, иссякают через немного километров. Карст жадно поглощает любую воду. Просачиваясь из одного слоя известняков в другой — нижележащий, в следующий, еще в следующий, двигаясь в то же время под землей и в горизонтальном направлении, совершают в карсте свой путь воды, изо дня в день растворяя окружающие горные породы. Можно сравнить карст с губкой: подобно ей, карстовый участок пронизан на всех своих этажах и по всем направлениям полостями и пустотами, образующими сложную подземную сеть. Провалившаяся под землю речка через пару десятков километров может вновь появиться

на поверхности, чтобы опять исчезнуть. Другие пропададут бесследно*. Карстовые пещеры достигают многих десятков километров в длину. Самая большая такая пещера, Мамонтова, находится в штате Кентукки (США), общая ее длина со всеми переходами около 250 км.

Помимо карбонатных пород благоприятные условия для возникновения карста создают и другие легко-растворимые горные породы, если они залегают мощными пластами. Прежде всего, это относится к крупным залежам каменной соли, гипса. Известная Кунгурская пещера на Урале является карстовой, она образовалась в гипсах.

Познакомив читателя с общими законами образования карста, мы можем теперь говорить непосредственно и только о Югославии. Карст на ее территории занимает весьма обширные площади. Юго-западная часть страны, прилегающая к Адриатике, в полосе шириной от нескольких десятков до 100—150 км, сложена главным образом карбонатными породами. Именно здесь находятся горы Динариды, протягивающиеся с юго-востока на северо-запад через всю Югославию вдоль Адриатического моря. И повсюду здесь развит карст. В зоне карста целиком расположена Черногория, едва ли не большие части Боснии и Герцеговины, Хорватии, значительная часть Словении.

В других районах Югославии карст развит лишь эпизодически. Главное

* Для того чтобы доказать, что появилась именно данная, ранее исчезнувшая речка, пользуются окрашиванием воды специальными красками.

его поле — на юго-западе. Возвышенную зону средней части карстовой полосы, характеризующуюся полуравнинным рельефом (как у нас в Крыму, на Яйле), зовут Высоким Карстом. Несколько раз проезжал я через Высокий Карст. Подходы к нему — с юга ли, с севера ли — это всегда крутой горный подъем. А затем вдруг въезжаешь почти что в степь — так, во всяком случае, кажется по сравнению с только что преодоленными скалистыми обрывами. Сухая сгоревшая трава, западинки, холмы и камень. Бело-серый голый камень всюду — на бортах воронок, щедро усеявших землю, на склонах холмов, в коротких промоинах, что прорыли ливневые потоки, просто на поверхности степи. Каменные заборы, каменные дома, каменные колоды для водопоя скота, камень, камень, камень...

Всего полчаса как одолели мы последнее из 25 колен всеевропейски известного серпантинного шоссе, идущего от города Котор на Цетинье, бывшую столицу Черногории. Еще полчаса назад под ногами раскрывалась синевая Которской бухты, что на 30—40 км, переламываясь под прямыми углами, немислимым образом ввинтилась в каменную громаду берега. Еще не вполне уяснил себе, как ухитрились провести это удобное шоссе по склону, крутизна которого на круг градусов 60, а кое-где и значительно побольше, — это почти отвесный обрыв. И уже расстилается перед тобой Высокий Карст в своем суровом облике: темнеют воронки, очерченные по краям природными каменными заборчиками, виднеются здесь и там скалистые обрывистые

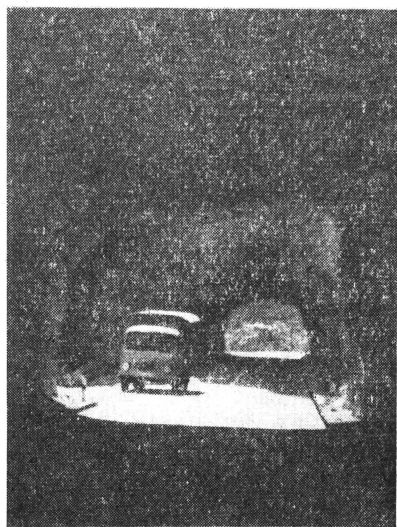
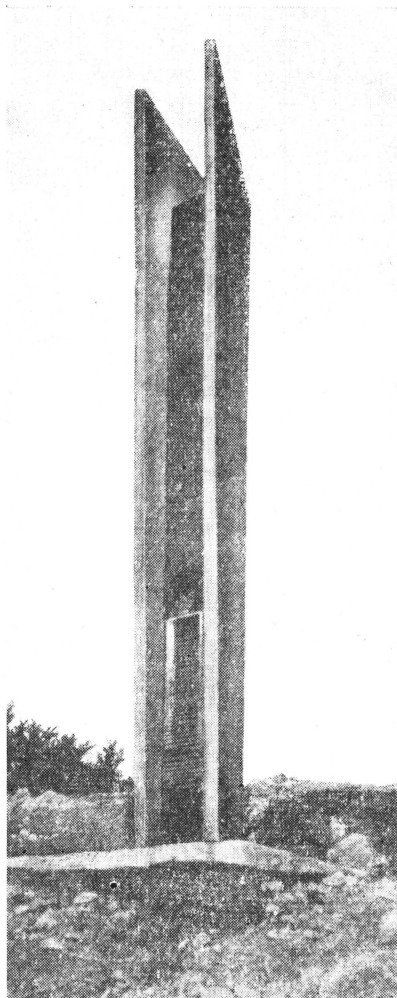
горушки. Сложенными из камня заборами зачем-то разгорожены одинаковые участки с сухой, шуршащей под ногами травой, — очевидно, частная собственность, но ничего не посеяно. Поселок — каменные дома, некоторые в два этажа. Они стоят прямо посреди желтой травы и камня — ни огорода, ни цветника, ни даже просто дерева. Седоусые старики-черногорцы в черных шапочках сидят в кафане за столиками, пьют кофе. Кафана воспользовалась тенью дома — столики стоят под небом. Женщины в длинных черных платьях, в черных платках что-то делают у открытых дверей. Наверное, так здесь было и 50, и 100, и 200 лет назад.

И закрадывается сомнение: полно, да есть ли в действительности «лазурная» Адриатика и краснокрышый город Котор на берегу заманчиво синей бухты с неподвижной водой? Но отличное (хотя и чуть узковатое) шоссе, по которому везет меня в своей машине геолог Младен Моичевич, идет из Котора. В строительстве шоссе, конечно, участвовали, если не эти седоусые brave старики, то их сыновья, племянники, внуки.

Нет в зоне Высокого Карста текущей воды. Редко-редко попадает сильный восходящий родник, ключом бьющий откуда-то из глубины. Ручей радует глаз на протяжении нескольких сот метров, километра, двух.

Памятник погибшим партизанам на перевале Макльен в Боснии. Много подобных памятников на Высоком Карсте...

Из туннеля нередко видишь впереди еще туннель, а то и два.



Затем он исчезает. Борьба с карстом закончилась, карст опять победил. Очень зелено, свежо, весело вокруг родника и ручья, но на редком исключении не построишь большого хозяйства. Для хозяйственных целей во всех поселках служат огромные бетонные бассейны, в которые собирают дождевые и снеготалые воды. Если год засушливый, то тогда плохо, иногда очень плохо. Лишь в крупных поселках-городках видели мы современные системы водоснабжения — водопроводы.

Здесь же, в этих городках, встречаются и настоящие деревья. Их немного, они растут вдоль улиц, в садочках. За пределами поселков высокие деревья — большая редкость. Правда, в понижениях, в плоских воронках, кое-где по склонам тянется к небу молодая густая поросль — дубки, грабы, держи-дерево, еще какие-то кустарники и деревца. Говорят, что это — новое явление для Высокого Карста. Раньше всю зелень, едва она поднимала голову от земли, начисто объедали козы. И вот (как рассказали югославские геологи) 15—20 лет назад всеюгославским декретом было запрещено иметь коз на Высоком Карсте. Надо отдать себе отчет в значении подобной необычной меры. Ведь хорошо известно, что республики Югославской Федерации весьма самостоятельны в своих внутренних делах и порой очень щепетильны на этот счет. Очевидно хозяйству на Высоком Карсте козы действительно приносили большой вред, раз пришлось пойти на такую общегославскую меру, как поголовное их запрещение. Ведь неприхотливой козе, этой «корове»

бедняка, жить бы и жить на карсте, где столько бедняков. За время, пока коз не было, отросли и деревца, и кустарники. Козы теперь появились. Не знаю, отменен ли направленный против них декрет или дело делается явочным порядком, но козы на Высоком Карсте есть, хотя и в несравненно меньшем количестве, чем в других районах Югославии.

Что делают люди на Высоком Карсте? Разводят скот: чаще приходилось видеть овец, реже — низкорослых коров. На более ровных и пониженных участках, в полях (влаги побольше), сеют хлебные культуры. В тех немногих местах, где выходят сильные родники, разводят сливовые сады, занимаются огородничеством. Правда, такое место я видел лишь одно — в поселке Горний Вакуф, в Боснии. Кое-где расположены полукустарные горные предприятия, там добывают бурый уголь, ведут обжиг известняка. Какое-то количество рабочих рук занято на ремонте существующих дорог (а их, с усовершенствованным покрытием, довольно много проложено через Высокий Карст) и на строительстве новых.

Это строительство особенно трудоемко на подступах к Высокому Карсту. Природа так нагромодила здесь пропасти, ущелья с зависающими над ними краями, узкие гребни, пики, что порой теряешься: куда же может идти дорога? Полностью я это почувствовал, когда пролетал низко над горами из Титограда — столицы Черногории в Скопле — столицу Македонии. Каньоны, щели, обрывы. Совершенно непонятно, как там внизу, на чем держатся дороги и акведуки! Дороги то и дело ныряют в туннели.



Тогда местность под самолетом чиста и понятна, но вот снова вылезает дорога, и ломаешь голову — куда она денется?

Югославские инженеры и строители хорошо разбираются в этом хаосе гор и ущелий и ведут через них и железные, и шоссейные дороги, обращаясь с туннелями уже даже не запросто, а запанибратски. Случаи, когда, находясь в туннели, видишь перед собой еще туннели, — совсем не редки в Динаридах.

Рассказывают, что когда было закончено строительство Кругобайкальской железной дороги (в начале нашего века), макет ее, со всеми туннелями и мостами, послали на Международную выставку в Париж. Он произвел там фурор; устроители выставки заявили, что к давно известным семи чудесам мира надо прибавить восьмое чудо — эту новую железную дорогу. Так вот, в югославских Динаридах подобных «восьмых» чудес, да еще более удивительных, не одно и не два. Кругобайкальская

«Непобедимая Черногория»

была проведена строго по горизонтали, всего в нескольких метрах над уровнем Байкала*. В Динаридах же дорога, выскочив из туннеля на головокруглительный мост, с крутым поворотом низвергается оттуда в выемку, опять поворачивает, вбегает в туннель, вверх, вниз, вбок, и пассажир под конец теряет ориентировку — где он и что с ним.

Неприветлив, суров, пожалуй, даже жесток по отношению к живущим здесь людям Высокий Карст. Но ведь в подавляющем большинстве — это все местные, тут родившиеся и выросшие. Они привыкли к труднейшим условиям жизни на карсте и это определило их характер. И они показали его, свой характер, во весь рост, когда гитлеровцы вторглись в Югославию. Центром партизанского сопротивления в течение долгих четырех лет, с апреля 1941 года по май 1945 года, был в Югославии Высокий Карст и его ближайшие окрестности. Большую часть этого времени на тысячи километров во все стороны находились враги. Но все это время Высокий Карст сражался. Гитлеровцы никогда не владели им. В этой безлесной, полуравнинной местности, где и спрятаться-то, кажется, особенно негде, они проводили жестокие, но кратковременные операции, потому что жить на Высоком Карсте было им не под силу. Они могли сбросить полтора пленных партизан в Корицкую «яму» — 130-

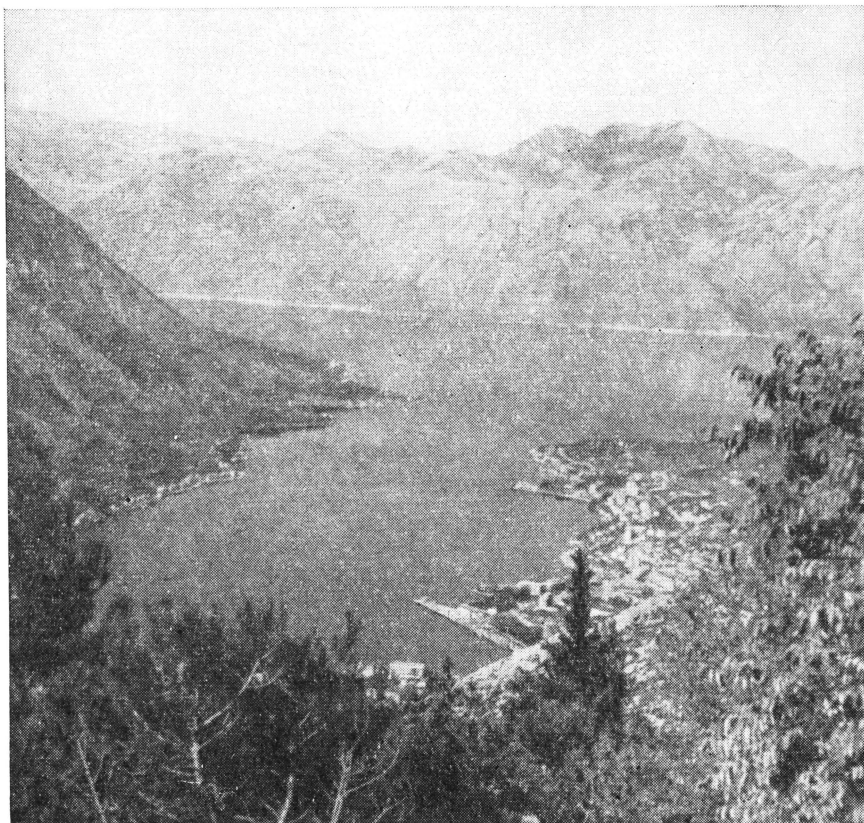
* Наиболее «туннельный» участок этой дороги по западному берегу Байкала сейчас не используется — в 40-е годы новую железнодорожную трассу провели в обход этой части Байкала.

метровый колодец, которым кончается одна из карстовых воронок Боснии. Они могли взять в клещи партизан в долине реки Тьентиште, на подступах к Высокому Карсту. Партизаны пробились, хотя и оставили много убитых. (На их братской могиле лежит огромная, простая и строгая гранитная квадрат-плита.) Но кроме таких набегов гитлеровцы ничего не могли поделывать с Карстом. Хозяевами оставались в подлинном смысле слова его сыны и дочери, люди Высокого Карста, к которым присоединились тысячи вольнолюбивых граждан из других областей страны.

На территории Высокого Карста воздвигнуто очень много памятников погибшим партизанам. Обелиск и длинные списки фамилий тех, кто отдал жизнь за свободу Югославии.

Говорят, что перед первой мировой войной старый черногорец якобы так убеждал своего собеседника: «Пока мы, черногорцы,— а нас много, целых сто пятьдесят тысяч человек — в союзе с русскими, которых тоже немало — сто пятьдесят миллионов,— мы вместе непобедимы». Конечно же, это анекдот, но он отражает уверенность в своих силах людей, возвращенных Карстом. Нам встретился один из них — старик, остановивший под Цетинье нашу машину с просьбой подвезти его приятеля. Когда я спросил старика, можно ли его сфотографировать, он охотно согласился, приосанился, быстро тронул пальцами усы и шапочку. Я назвал бы этот снимок «Черногория» или «Непобедимая Черногория».

Хорошо, может сказать читатель, но ведь речь все время идет только о Высоком Карсте. А там живет



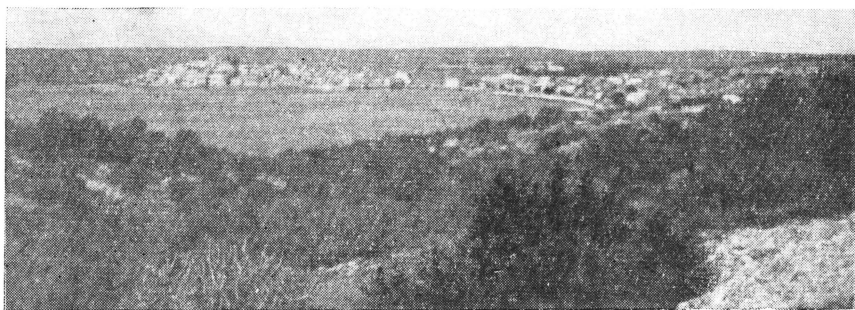
так мало народу, что возникает сомнение: можно ли распространять его черты на других жителей Югославии. Оказывается можно, во всяком случае на многих.

Югославскую Адриатику нередко сравнивают с Черноморским побережьем Кавказа (особенно с Абхазией), а то — с южным берегом Крыма. В самом деле, сходства много: так же вплотную к морю придвинуты горы, так же зеленеют парки и фруктовые сады вдоль побережья, шеренгами выстроились виноградные кусты, темнеют свечи кипарисов. Но существует и огромная разница. В Абхазии очень много созданных природой великолепных земельных участков:

«ткни палку в землю — вырастет дерево». На южном берегу Крыма камня побольше, чем в Абхазии, а хорошей земли — поменьше, но все же немало. На Адриатическом побережье Югославии камня, голого камня-известняка более чем достаточно — это все карст, а пригодной для возделывания земли очень мало. И тем не менее многие районы побережья, — это сплошные сады и парки, в зелени которых не разобрать, где кончается один поселок и начинается другой. В отличие от Абхазии, citrusовых культур здесь почти нет, много персиков, яблонь, слив, винограда и, конечно, серебристых оливковых деревьев.

Насадить на карсте все это зеленое великолепие и заставить его служить человеку было трудным и долгим делом, очень трудным и очень долгим. Для этого прежде всего пришлось сделать землю землей, освободив ее от тысяч и миллионов

Которская бухта на десятки километров свинтилась в берег. Справа — город Котор. Выход к морю — налево за мыс, там есть еще крутые повороты



камней. Нередко землю создавали, собирая чуть ли не по горстке с соседних участков. Затем ее непрерывно стерегли (и стерегут) от размыва, ведь сильные ливни не редкость на побережье. Поэтому по всем мало-мальски крутым склонам сооружены каменные надежные заборы, сотни, тысячи заборов. Они идут и прямо, и вкось, немного вверх, немного вниз, делят склон на бесчисленное количество микроскопических ячеек, только бы поместиться одной — двум оливкам или адриатическим соснам с их длинной ярко-зеленой хвоей. На таких препятствиях дождевые воды дробятся, не собираются в бурлящие потоки, не разрушают склоны, не заносят их подножия камнем и щебенкой.

Результаты этого долголетнего непрерывного тяжелого труда особенно наглядны, когда сравниваешь ухоженный сад, с его тенью, прохладой и расточительной щедростью фруктов, и соседнюю — впритык — площадку, которую только начинают готовить под земледелие. Она уже разделена заборами, и растут на ней первые оливковые деревья, но даже земли здесь еще толком не видно из-под камней.

На Адриатическом побережье немало городов, возникших в античной древности. Расцвет их начался в раннем средневековье, в IX—X веках. Таков Дубровник — это югославянское средневековое подобие античных Афин. Здесь создан крупный культурный и политический центр, из которого вышла масса замечательных людей — писателей, ученых, политических деятелей. Таковы и другие

старые города — Задар, Сплит, Шибеник, Котор. Неоднократно приходили они в упадок, их разрушали войны, землетрясения, пожары, но вновь и вновь поднимались они из пепла и руин. Дошедшие до нас старинные кварталы этих городов в основном сооружены в XVI—XVII веках. И вот, в этих кварталах совершенно нет растительности: на каменистой почве или прямо на скалах стоят каменные дома и, как и на Высоком Карсте, нет около них ни садов, ни цветников. А рядом, на современных улицах тех же городов, шумят платаны, красуются розы. Видимо, превращение Адриатического побережья в чередование парков и садов — дело последних полутора-двух столетий.

В этой огромной работе, проходившей на карсте, хотя и в более благоприятной обстановке, чем на Высоком Карсте, участвовало уже очень много людей — не только местных, но и жителей других областей страны. Воспитующее значение жизни на карсте распространилось здесь едва ли не на все население Югославии.

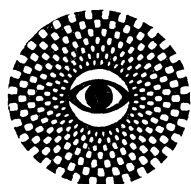
Исключительно трудные условия существования на карсте сделали югославов особенно стойкими в борьбе за лучшую долю. Это стойкость того порядка, когда о людях уважительно говорят, что их нельзя согнуть, их можно только сломать.

■ *На продолжении скалистых мысов Адриатики нередко сидят маленькие островки. Они соединены с мысами узкой косой или искусственной насыпью и часто сплошь застроены. Местечко Примштен, севернее Сплита*

Лучшим свидетельством служит борьба югославов во время второй мировой войны. Когда же наступает облегчение, такие люди быстро идут вперед. И это произошло, как только Югославия вступила на путь социального развития.

Я не рассказал о югославском карсте всего, что мог бы, но сказал о главном: почему он произвел на меня такое сильное впечатление. Как видит читатель, здесь переплетаются две линии — чисто эстетическое впечатление от своеобразного природного ландшафта и впечатления от условий жизни людей, от особенностей этих условий, что так или иначе связано с природной обстановкой карста. Вероятно, глубина восприятия от такого переплетения выигрывает. Вспоминая югославский карст, я прежде всего вижу его таким, какой он есть в натуре. Вижу первозданную суровость Высокого Карста, испепеленную солнцем траву, каменные воронки, черные фигуры работающих крестьян, или хаос каменных гребней и пропастей и бегущую через них без усталости дорогу. С нежностью думаю о прелести Адриатического побережья, преобразованного настойчивым человеческим трудом: многие места его превращены в сплошные сады и парки, в зелени которых тонут дома — видны лишь красные черепичные кровли. И по контрасту сейчас же в воображении возникают девственно каменные, ослепительно белые, голые мысы северной Далмации, припавшие к черно-синему морю в ожидании, когда и их коснется умная рука человека.

Фото автора



ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ
АСТРОНОМИЯ

Из истории московских астрономических кружков

Роль астрономических кружков в развитии отечественной астрономии вряд ли требует особых пояснений, достаточно вспомнить хотя бы знаменитый Нижегородский кружок любителей физики и астрономии. Очевиден и тот значительный вклад, который вносят в науку многочисленные ныне успешно работающие молодые астрономические кружки. Но положительный опыт прошлого может пригодиться и сегодня. Таковы мотивы, побудившие автора рассказать о московских астрономических кружках довоенных и первых послевоенных лет.

Астрономический кружок в Московском планетарии впервые был организован в 1934 году по инициативе лектора В. А. Шишакова и работал до начала войны. В нем участвовали главным образом школьники 5—7 классов. Занятия кружка, как правило, проходили под искусственным небом планетария, где с докладами кроме В. А. Шишакова и некоторых кружковцев выступали профессора К. Л. Баев и М. Е. Набоков. Эпизодически кружковцы наблюдали небесные объекты в 5-дюймовый телескоп обсерватории планетария, а также мастерили примитивные телескопы.

Программа кружка была чисто описательной, а наблюдения служили лишь иллюстрацией к тому, о чем говорилось на теоретических занятиях. Состав кружка ежегодно обновлялся, но все-таки удалось сколотить небольшой актив, работавший несколько лет. Из этого актива астрономом стал Н. Е. Курочкин, известный исследователь переменных звезд.

Еще один астрономический кружок был организован в 1938 году авто-

ром этих строк при Доме пионеров Октябрьского района. В этом причудливом по архитектуре здании (Вадковский переулок, дом 5) находилась 2-я обсерватория Московского отделения ВАГО с 3-дюймовым рефрактором Цейсса*. Здесь и развернулась деятельность кружка. Был создан астрономический кабинет и при нем небольшая фотолaborатория. Кружок объединял школьников старших классов, и новым, по сравнению с планетарным кружком, было то, что самостоятельности кружковцев уделялось основное внимание. Под руководством профессора М. С. Навашина они успешно шлифовали зеркала для небольших рефлекторов, а наблюдения на обсерватории стали не только иллюстративными, но и научными. Ребята зарисовывали Юпитер, Венеру, Сатурн, вели статистику солнечной активности, наблюдали переменные звезды. Работа шла в тесном контакте с Московским отделением ВАГО, в члены юношеской секции которого вступили 14 кружковцев. В кружке функционировали математическая и фотографическая секции, а на его занятиях неоднократно выступали В. В. Федынский (ныне член-корреспондент АН СССР), К. Л. Баев и М. Е. Набоков. Наиболее ценные наблюдения удавались публикации в «Бюллетене ВАГО». Из бывших кружковцев О. В. Катц стала специалистом-астрономом (ныне лектор Московского планетария).

* В. К. Луцкий. Первая народная обсерватория в Москве. «Земля и Вселенная», № 4, 1972 г. (Прим. ред.)

В первые послевоенные годы (1945—1950 годы) в Московском планетарии развернулась массовая работа со школьниками. В кружках ежегодно занималось 500, а иногда и 800 человек. Может показаться, что такая многочисленность исключает обычные формы кружковой работы, индивидуальный подход к каждому кружковцу, да и просто контроль их знаний. Опыт показал, что это не так.

По возрастному признаку были выделены три кружка: младший школьный (4—7 классы), старший школьный (8—10 классы) и студенческий. Наиболее многочисленным был старший кружок, пополнявшийся главным образом десятиклассниками, которые слушали учебные лекции в планетарии. Студенческий кружок формировался из бывших кружковцев, ставших студентами московских вузов. Каждый кружок имел свой устав, своего руководителя (лектор планетария) и Бюро, избираемое из кружковцев. Общее руководство осуществлялось Советом кружков под председательством автора этих строк, который одновременно возглавлял старший и студенческий кружки. Большую помощь в организации работы кружков оказывали автору сотрудники планетария В. А. Шишаков, К. А. Порцевский и Р. И. Цветов.

Деятельность кружков разделилась на учебную, научную и популяризаторскую. Система обучения в кружках была строго регламентирована специальными программами. Первый концентр — обучение в младшем кружке. Программа предусматривала начальное знакомство с элементами астрономии. Ребята мастерили гномоны, высотомеры, сол-

нечные часы и телескопы из очковых стекол. Состав кружка ежегодно обновлялся, но 5—6 человек, успешно освоивших первый концентр, обычно переходили в старший кружок.

В старшем кружке первое полугодие изучались углубленно отдельные темы школьного курса астрономии. Лекции проходили в планетарии, а наблюдения — в обсерватории и на астрономической площадке. Во втором, весеннем семестре, характер занятий менялся: лекции руководителя посвящались уже более узким темам из курса общей астрономии, кружковцы приступали к изучению инструментов (телескопа, теодолита, секстана) и сдавали экзамены на право пользования ими.

Первоначально группами по изучению инструментов (5—7 человек в каждой) руководили лекторы планетария, а затем и сами кружковцы, сдавшие экзамены. Они хорошо знали теорию инструмента и имели навыки работы с ним.

Кроме того была введена система практикумов. В младшем кружке начальный практикум включал в себя теоретические знания в объеме книги К. Л. Баева и В. А. Шишакова «Начатки мироведения», знакомство с основными созвездиями и звездами, наблюдения фаз и положений Луны, видимых положений планет, а также изготовление самодельного телескопа или другого инструмента.

Для старших кружковцев был предусмотрен общий учебный практикум. Это — теоретическое знакомство с несколькими книгами по астрономии (И. Ф. Полак «Общедоступная астрономия» и другие) и решение 13 практических задач, большинство



из которых кружковец мог выполнить дома. Например, изготовление высомера, гномона, угломера и наблюдения с ними, наблюдения переменной звезды (20 оценок блеска). Старшие кружковцы должны были также представить сочинение на узкую тему (например, «Красное Пятно Юпитера»).

Специальный практикум, предназначенный для студенческого кружка, состоял из отдельных задач астрофизики и практической астрономии (определение поправки часов по методу Цингера, фотографирование Солнца с окулярным увеличением, определение радианта метеорного потока и другие). Каждый практикум завершался экзаменом.

Для поощрения учебной деятельности кружковцев мы ввели разрядно-квалификационную систему. (Известно, какое значение «детским играм» придавал А. С. Макаренко.)

Первый руководитель астрономических кружков Московского планетария, кандидат педагогических наук В. А. Шишаков (1894—1972). Им основан был также «Школьный астрономический календарь»

Кружковец, сдавший экзамен на право пользования одним из основных инструментов, получал звание наблюдателя 3-го разряда, и ему вручалось специальное удостоверение. Тем, кто сдал общий практикум, присваивали звание наблюдателя 2-го разряда, а за сдачу специального — 1-го разряда. Сдача начального практикума давала право перехода в старший кружок (независимо от возраста), а общего — в студенческий.

Система обучения в кружках полностью себя оправдала, так как кружковцы овладевали теорией и успешно применяли ее на практике. Учебная работа кружковцев, естественно, подготавливала их к научной деятельности. Ею занимались, конечно, не все ребята, а главным образом те, кто решил избрать астрономию своей специальностью. Они изучали солнечную активность, поверхности планет (зарисовка со световыми фильтрами, визуальная фотометрия), проводили визуальные и фотографические наблюдения метеоров и переменных звезд.

Уровень выполнения научных работ был более высоким, чем в довоенные годы. Не случайно поэтому, в течение первых пяти послевоенных лет в «Бюллетене ВАГО» и журнале «Переменные звезды» кружковцы Московского планетария опубликовали свыше 30 научных статей. В. Давыдов, З. Кашанова, Р. Хотиник, А. Саврухин и другие активно участвовали в метеорных экспедициях (Ашхабад, Симферополь), а Н. Шаховской и В. Карпинский в 1950 году фотографировали солнечные протуберанцы под Кисловодском, на Горной станции Пулковской обсерватории.

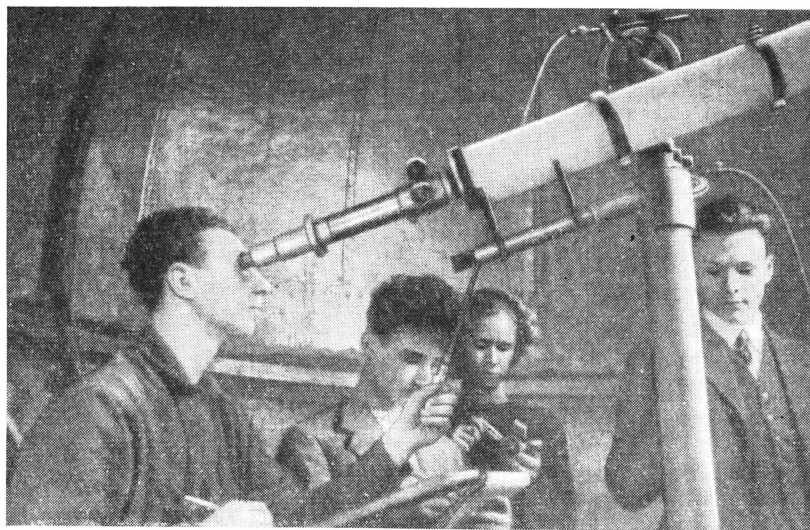
Некоторые самоделки кружковцев заслуживают особого упоминания. Оригинальный гелиоскоп изобрел и построил И. Новиков. Вместе с В. А. Шишаковым он описал его устройство в специальной брошюре. На конференции юных техников в 1950 году премией был отмечен самодельный астрограф конструкции Б. А. Воронцова-Вельяминова, построенный Е. Левитаном. Под руководством кружковца Г. Постнова для планетария был изготовлен первый в СССР глобус Марса. Камеру для фотографирования Солнца и Луны сделали И. Зоткин и Н. Кардашев.

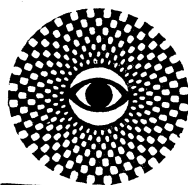
Важную роль в деятельности кружков сыграли научно-теоретические и тематические конференции. Это было торжественное подведение итогов проделанной работы. Вспоминается первая научно-теоретическая конференция 1949 года, посвященная 15-летию кружков Московского планетария. Большой зал планетария был переполнен, в президиуме — профессор Б. А. Воронцов-Вельяминов, П. П. Паренего, руководители и председатели кружков. Из 16 докладов, прочитанных кружковцами, осо-

■
В обсерватории Дома пионеров Октябрьского района. Справа — руководитель кружка Ф. Ю. Зигель (1938 г.)

■
Изучение секстана. Справа И. Зоткин (1950 г.)

■
Академик В. А. Амбарцумян среди участников планетарских кружков (1950 г.)





ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ
АСТРОНОМИЯ
+

бый интерес вызвали доклады Н. Кардашева «Опыт фотографического изучения солнечной активности», Т. Фаткиной и М. Клякотко «Исследование некоторых переменных звезд», В. Прокопцевой «Астрономия в древнем Хорезме», И. Зоткина «Систематические ошибки в наблюдениях фаз Венеры».

Год спустя проходила вторая научно-теоретическая конференция. Запомнились содержательные доклады Г. Саловой «Лобачевский как астроном», В. Давыдова и К. Мансуровой «Метеорные экспедиции в 1950 году».

В 1950 году, когда отмечалось 500-летие со дня смерти Улугбека, в Московском планетарии была проведена специальная конференция с докладами П. Щеглова «Улугбек и его работы», Б. Финикова «Эпоха тимуридов», Н. Шаховского «Астрономия в Узбекистане после Улугбека».

В научной работе кружкам помогали наши видные ученые-астрономы — академики В. А. Амбарцумян и А. А. Михайлов, члены-корреспонденты АН СССР П. П. Паренато и В. В. Федынский, профессора К. Л. Баев, Б. А. Воронцов-Вельяминов, Б. В. Кукаркин, А. Г. Масевич, М. Е. Набоков, С. Б. Пикельнер и другие. Их выступления на заседаниях кружков неизменно поддерживали и направляли в нужное русло энтузиазм кружковцев.

В своем руководстве кружками мы всегда придерживались принципа воспитывающего обучения, использовали любую возможность для идейно-политического воспитания школьников. Мы старались привлекать ребят и к общественно-полез-

ной деятельности. И надо заметить, что кружковцы с большой охотой работали демонстраторами и экскурсоводами планетария. Среди них отличными популяризаторами астрономии зарекомендовали себя В. Луцкий, И. Зоткин, Г. Салова и Б. Фиников.

Верные принципу Макаренко «ничто так не скрепляет коллектив, как традиция», мы ввели в кружках планетария традиционные вечера, посвященные началу и окончанию учебного года, ежегодные научно-теоретические конференции и вечера самодеятельности. Вечера проходили всегда очень живо и весело. Здесь проявлялось остроумие и таланты кружковцев, ведь некоторые из них занимались в музыкальных, хореографических и художественных училищах. В 1949 году на концерте самодеятельности, которым закончилось празднование юбилея кружков, выступил известный виолончелист Андрей Борисяк. В 1901 году, будучи еще гимназистом, он открыл Новую Персея. Это была волнующая встреча поколений, связанных общей любовью к звездам.

Всякое дело ценится по его результатам. Кружки Московского планетария стали хорошей школой для многих ныне известных советских астрономов. Этот факт свидетельствует, что работа кружков была небесполезной. Я назову лишь некоторых из выпускников наших кружков. Это — доктора физико-математических наук Н. С. Кардашев, В. Г. Курт, И. Д. Новиков — ученые, чьи труды в области астрофизики и космологии общеизвестны; лауреат Ленинской премии Н. М. Шаховской, кандидаты физико-математических наук В. Д. Да-

выдов, М. А. Клякотко, Э. В. Кононович, Б. Н. Пановкин, А. С. Шаров и другие. Астрономии посвятили себя И. Т. Зоткин, О. В. Катц, З. А. Кашанова, К. С. Мансурова, Н. Б. Перова, А. П. Саврухин, Г. И. Салова, Р. Л. Хотиник, Р. А. Эйдук и другие.

Немало специалистов астрономов было подготовлено и в филиалах планетарных кружков. В Жуковском филиалом руководил Е. Левитан, в Павлово-Посаде — Л. Попкова. Работали филиалы по оригинальным программам, составленным руководителями. Например, в Жуковском ребята занимались по весьма сложной четырехгодичной программе, которая охватывала многие темы общей и сферической астрономии. Не случайно, что некоторые бывшие кружковцы — Р. Ирошников, Ю. Шалаев и Ю. Иванов — успешно защитили кандидатские диссертации.

А сколько кружковцев стало специалистами в смежных с астрономией областях естествознания — физике, геодезии! Даже те, кто избрал себе гуманитарные сферы, вероятно, вспоминают добром время, проведенное в Московском планетарии. В наш космический век они, в отличие от многих своих сверстников, имеют ясное представление о Вселенной.

Хорошо, если этот небольшой экскурс в историю московских астрономических кружков вдохновит теперешних юных любителей астрономии. Пример их старших товарищей показывает, что при достаточном усердии и целеустремленности путь в астрономию всегда открыт.

Доцент
Ф. Ю. ЗИГЕЛЬ

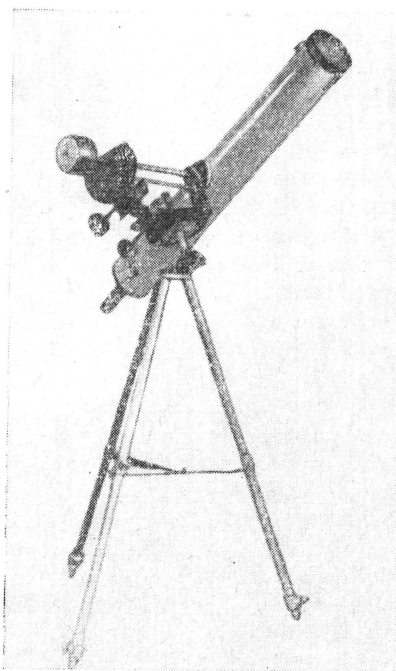
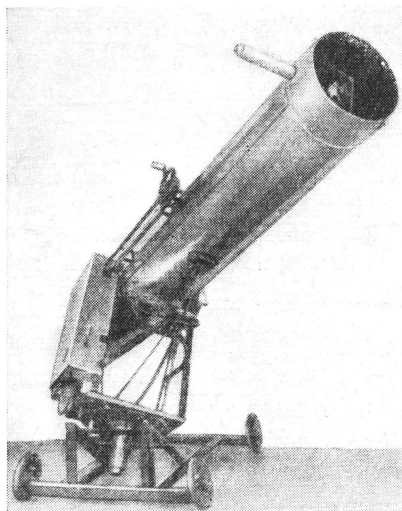


В. М. ШУВАЛОВ

Механизм управления телескопом

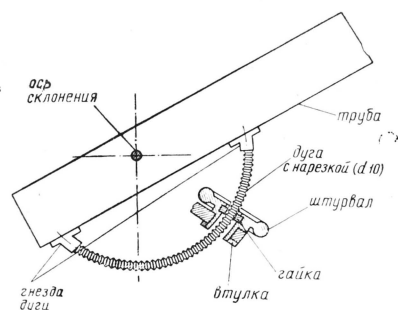
Автор этих строк построил два телескопа: 100-миллиметровый рефрактор и рефлектор системы Ньютона с диаметром зеркала 250 мм. Зеркало рефлектора имеет большое фокусное расстояние. Потребовалась довольно длинная труба — 1800 мм. Но благодаря вилочной монтировке удалось сделать конструкцию телескопа негромоздкой и устойчивой. Вручную поворачивать такую длинную трубу вокруг часовой оси нелегко, так как, проводя наблюдения в фокусе Ньютона, наблюдатель находится у переднего края трубы. Чтобы облегчить управление телескопом, была изготовлена планетарная цепная передача. Легкий поворот штурвала заставляет трубу рефлектора плавно следовать за небесным светилом.

Верхняя цепь планетарной передачи находится непосредственно на трубе телескопа, и ее ведущая звездочка укреплена на одной оси со штурвалом. Вращение штурвала передается через ведущую звездочку верхней цепи на ведомую, которая свободно посажена на цапфу оси склонения и расположена на одной втулке с ведущей звездочкой нижней цепи. Ее движение передается через ведомую звездочку нижней цепи и далее через зубчатую коническую передачу малой цилиндрической шестерне. Последняя вращается в гнезде плиты, которая тремя винтами прикреплена к планшайбе часовой оси. Вращаясь, шестерня «обегает» большую неподвижную цилиндрическую шестерню, а тем временем труба телескопа поворачивается вокруг часовой оси на 360° . Такое устройство позволяет наблюдателю



вести за светилом трубу, независимо от ее положения.

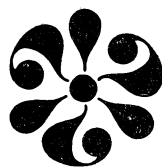
Гораздо проще приспособление, вращающее телескоп вокруг оси



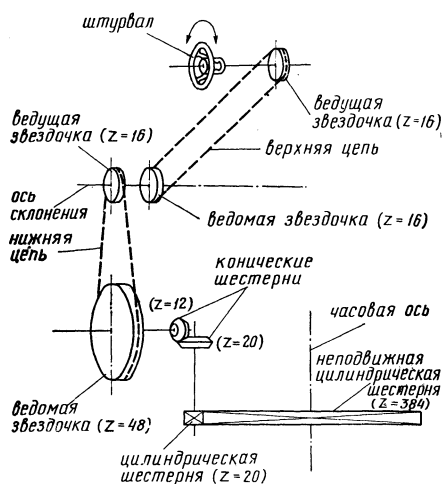
Приспособление для поворота телескопа вокруг оси склонения (d — диаметр резьбы в миллиметрах)

Рефлектор системы Ньютона, изготовленный В. М. Шуваловым. Диаметр параболического зеркала 250 мм, фокусное расстояние 1920 мм, окулярное увеличение $100\times$. Монтировка телескопа вилочная

Рефрактор, построенный В. М. Шуваловым. Диаметр ахроматического объектива 100 мм, фокусное расстояние 920 мм, окулярное увеличение $50\times$. Тип монтировки немецкий. Две червячные передачи со штурвалами служат для вращения трубы вокруг часовой оси и оси склонения



ОТВЕТЫ
НА ВОПРОСЫ
ЧИТАТЕЛЕЙ



склонения. К переднему и заднему краю трубы крепится согнутый в дугу нарезанный стержень из стали. На него навинчивается гайка, которая помещена во втулку штурвала. Радиус дуги достаточно велик (500 мм), поэтому искривление профиля резьбы не мешает свободному скольжению гайки. Вращение штурвала заставляет гайку навинчиваться на дугу. Дуга передвигается — и труба поворачивается вокруг оси склонения. На одной из цапф оси склонения есть лимб со стрелкой. По нему можно отсчитывать градусы склонения.

Кинематическая схема управления телескопом по часовой оси. Z — число зубцов у шестерен

По подсчетам, которые опубликованы на страницах парижского журнала «Science et vie» («Наука и жизнь») планета Плутон вследствие постоянной потери своей массы может исчезнуть к 1990 году. Так, если в 1938 году масса Плутона считалась равной массе Земли, то в настоящий момент она составляет лишь 0,11 массы нашей планеты.

Выполняя просьбу наших читателей П. Мисецкого (Солнечногорск, Московская область), В. Чуенко (Геническ, Херсонская область), В. Тимашова (Донецк) и М. Пучинского (деревня Богино, Витебская область), это сообщение, помещенное на страницах еженедельника «За рубежом», комментирует кандидат физико-математических наук В. А. БРОНШТЭН.

Необходимо сразу же успокоить читателей журнала: Плутон не потерял с 1938 года ни одного грамма своей массы и не исчезнет ни в 1990 году, ни спустя миллионы лет. Фраза о предстоящем «исчезновении» Плутона — шуточный упрек ученым. Действительно, в 1938 году (и много позже, например в 1961 году) масса Плутона считалась почти равной массе Земли, а по новейшим определениям она составляет 0,11 массы нашей планеты. Но изменилась не масса Плутона, а точность ее определения, что и привело к изменению оценки массы планеты.

Напомним, что существование девятой планеты Солнечной системы предсказал в 1915 году П. Ловелл, который проанализировал возмущения в движении Урана. Согласно его расчетам, масса «планеты X» должна была в 6,5 раз превосходить массу Земли. Новую планету открыл К. Томбо лишь в марте 1930 года. Она ока-

залась очень слабой — 15-й величины, тогда как ожидали найти планету 12—13-й величины.

Между прочим, уже оценка блеска должна была показать астрономам, что Плутон по размерам (а значит, и по массе) скорее сравним с Марсом, чем с Землей. В самом деле, возьмем реальный Марс и поместим его мысленно на то же расстояние, что и Плутон. Как изменится его блеск? Известно, что во время великого противостояния Марс светит как звезда — 2,5 звездной величины. Тогда его от Земли отделяют 0,4 а. е. и от Солнца 1,4 а. е. Перенесем Марс на расстояние 40 а. е. от Солнца и Земли. Освещенность планеты Солнцем уменьшится в $(40/1,4)^2 = 800$ раз, площадь видимого диска в $(40/0,4)^2 = 10\,000$ раз, видимый блеск в 8 млн. раз, что соответствует разности в 17,2 звездной величины. Иначе говоря, Марс, находясь на том же расстоянии, что и Плутон, имел бы блеск $17,2 - 2,5 = 14,7$ звездной величины, то есть столько же, сколько сам Плутон. Но масса Марса составляет примерно 0,11 массы Земли, а Плутону долгое время приписывали массу 0,9 земной.

Конечно, можно допустить, что у Плутона альbedo в несколько раз меньше, чем у Марса, например втрое (меньше даже, чем у Меркурия и Луны). Тогда ему можно было бы приписать диаметр в 1,7 раза больший, чем у Марса, а массу в 5 раз большую. А если вдобавок предположить, что плотность Плутона превосходит плотность Марса и равна земной, то можно его массу «натянуть» до 0,8 массы Земли.

Но все это — косвенные пути оцен-

ки массы Плутона. Прямой и самый надежный путь — определить ее по возмущениям, которые вызывает планета в движении других тел Солнечной системы. Но каких? Спутников у Плутона нет, кометы близко от него пока не проходили. Остаются две ближайшие к нему планеты — Нептун и Уран.

Сближения Плутона с Нептуном наступают, в среднем, раз в 495 лет, причем последнее было сравнительно недавно — в 1890 году. В это время Плутон располагался в 21° от точки афелия, которую он прошел в 1865 году, и находился не только на 19 а. е. дальше Нептуна, но и на 12 а. е. «ниже» (южнее) плоскости эклиптики, поэтому расстояние между обеими планетами достигало 22 а. е.

Затем Нептун, двигаясь быстрее, обогнал Плутон и к 1930 году — году открытия — Плутон отстоял от него уже на 25 а. е. по прямой линии. Тогда же он пересек эклиптику и постепенно приближался к Солнцу, ускоряя свое движение. В 1969 году Плутон вступил на тот отрезок своей орбиты, который ближе к Солнцу, чем орбита Нептуна. Теперь его скорость на орбите уже на 0,5 км/сек

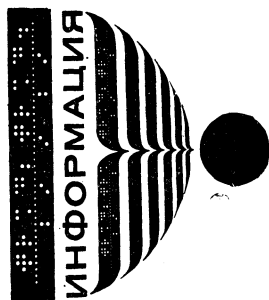
превысила скорость Нептуна, и за год он прошел по орбите путь, на 16 млн. км больший, чем Нептун. Но расстояние между ними все же не сокращалось, так как Плутон был на 10 а. е. «выше» (севернее) эклиптики. В настоящее время расстояние между Плутоном и Нептуном составляет 32,5 а. е. Как показали расчеты движения Плутона за последние 120 000 лет, проведенные на ЭВМ американскими астрономами К. Коэном и Э. Хаббардом (с учетом возмущений от четырех планет-гигантов), орбита Плутона испытывает либрацию — периодические «качания» в своей плоскости, и, следовательно, расстояние между Плутоном и Нептуном не может быть меньше 18 а. е. Нетрудно убедиться также, что три оборота Нептуна вокруг Солнца почти равны двум оборотам Плутона (495 лет). Эти обстоятельства обеспечивают устойчивость орбиты Плутона.

Аналитическая теория движения Плутона была разработана в 1955—1966 годах советскими специалистами по небесной механике Ш. Т. Шараф и Н. А. Будниковой. Для этого они использовали все наблюдения положений планеты в течение 1914—

1958 годов (просмотр пластинок, снятых на разных обсерваториях еще до открытия Плутона, позволил обнаружить его на многих из них начиная с 1914 года). Советские ученые получили новую систему элементов орбиты Плутона и таблицы коэффициентов, необходимых для учета возмущений. Таким образом, движение самого Плутона было изучено достаточно хорошо, но диаметр и масса планеты оставались неуточненными.

В 1950 году известный американский астроном Дж. Койпер на 5-метровом телескопе обсерватории Маунт Паломар измерил видимый диаметр Плутона и нашел его равным $0{,}23''$, что соответствовало линейным размерам в 5 900 км. Введя в свои измерения некоторые поправки, Койпер уменьшил значение диаметра до 4900 км. Как мы скоро увидим, эта величина довольно близка к истинной.

Хуже обстояло дело с массой Плутона. В 1955 году Д. Брауэр попытался уточнить старые определения, используя наблюдения Урана и Нептуна. Известно, что к Урану Плутон может подходить ближе, чем к Нептуну — на 14 а. е. Это связано с тем, что три оборота Урана вокруг



«Теплый» Сри

Температура Сатурна, измеренная по дециметровому радиоизлучению планеты, оказалась довольно высокой. На длине волны 50 см она равна $390 \pm 65^\circ \text{K}$, а на длине волны 94 см — $520 \pm 110^\circ \text{K}$. В инфракрасном диапазоне волн температура планеты составляет всего $90\text{—}170^\circ \text{K}$, а в миллиметровом $100\text{—}140^\circ \text{K}$.

Возможно, радиотемпература Сатурна увеличивается с длиной вол-

ны потому, что длинные волны приходят к нам с большей глубины. Не исключено, однако, что дециметровые волны формируются в ионосфере Сатурна и приносят нам сведения именно о ее температуре.

Излучение Сатурна в дециметровом диапазоне измеряли на 300-метровом телескопе в Аресибо сотрудники Корнеллского университета Дж. Кондон, Д. Джаунси и М. Иерберри.

«Science News», 101, 20, 1972.

Солнца ($84 \times 3 = 252$ года) почти равны одному обороту Плутона (248 лет). Но так как нет точного совпадения периодов, то сближения Плутона с Ураном происходят в разных точках орбиты.

Брауэр нашел, что масса Плутона равна 0,8 земной. Общепринятое значение (вплоть до 1964 года) было 0,9 массы Земли. Но если сопоставить значения массы и диаметра, то Плутону пришлось бы приписать совершенно невероятную плотность — 50 г/см^3 . Требовались новые уточнения величины диаметра и массы.

Случай представился в ночь с 28 на 29 апреля 1965 года, когда Плутон должен был закрыть звезду 15-й величины. Наблюдения, проведенные на двенадцати обсерваториях США и Канады, не зарегистрировали покрытия. Это означало, что диаметр Плутона не превосходит 4400 км, а с учетом возможных ошибок наблюдений — 5500 км.

Уточнить массу планеты взялись американские астрономы Р. Данкомб, П. Сейдельман и польский астроном В. Клепчинский. Они подвергли анализу существовавшие до сих пор теории движения Нептуна и пришли к выводу, что теории, хорошо представляя наблюдения 1795 и 1846—1938 годов, дают сильные отклонения для 1960—1968 годов. Эти отклонения были вызваны ошибочной массой Плутона, принятой при учете возмущений. Трое ученых стали подбирать различные значения массы

Плутона и в 1968 году получили наилучшее согласие при массе 0,18 земной. Но даже с этой массой плотность планеты все еще оставалась слишком высокой.

Тогда Р. Данкомб, П. Сейдельман, В. Клепчинский и Э. Джексон заново обработали 5426 наблюдений Нептуна, выполненных в 1846—1968 годах на меридианных кругах девяти обсерваторий. Они привели наблюдения к единой системе каталога звезд FK3 и сравнили их с эфемеридными положениями планеты, вычисленными путем численного интегрирования уравнений движения пяти больших планет (от Юпитера до Плутона), причем вместо массы Плутона при расчетах подставлялись различные величины. Наилучшее согласие всех наблюдений было получено для массы в 0,11 земной ($1/3\,000\,000$ солнечной). Если диаметр Плутона равен 6400 км, то средняя плотность получается $4,88 \text{ г/см}^3$, а если диаметр 4400 км, то 15 г/см^3 . Нужно, однако, иметь в виду, что и масса и диаметр определены все еще неточно. Если принять диаметр 5500 км, а массу 0,095 земной (нижний предел), то плотность планеты составит $6,4 \text{ г/см}^3$.

Теперь читателям должно быть понятно, как «уменьшается» масса Плутона. Оценки массы планеты 0,9, 0,18 и, наконец, 0,11 земной были сделаны по тем же наблюдениям, лишь с добавлением все более и более новых. Радикальное решение вопроса о диаметре и массе Плутона станет возможным, по-видимому, только после посылки к нему космического зонда, по движению которого вблизи планеты можно будет найти точное значение ее массы.

Редакционная коллегия:

Главный редактор доктор физ.-мат. наук Д. Я. МАРТЫНОВ

Зам. главного редактора кандидат физ.-мат. наук М. Г. КРОШКИН

Ответственный секретарь кандидат пед. наук Е. П. ЛЕВИТАН

Член-корреспондент АН СССР Г. А. АВСЮК, доктор географических наук А. А. АКСЕНОВ, кандидат физ.-мат. наук В. А. БРОНШТЭН, член-корреспондент АН СССР Ю. Д. БУЛАНЖЕ, доктор техн. наук А. А. ИЗOTOV, доктор физ.-мат. наук И. К. КОВАЛЬ, доктор географических наук В. Г. КОРТ, доктор физ.-мат. наук Р. В. КУНИЦКИЙ, доктор физ.-мат. наук Б. Ю. ЛЕВИН, кандидат физ.-мат. наук Г. А. ЛЕЙКИН, академик А. А. МИХАЙЛОВ, доктор физ.-мат. наук И. Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук К. Ф. ОГОРОДНИКОВ, доктор физ.-мат. наук Г. Н. ПЕТРОВА, доктор геол.-мин. наук Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук В. В. РАДЗИЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук Ю. А. РЯБОВ, доктор техн. наук К. П. ФЕОКТИСТОВ, доктор геол. мин. наук Ю. М. ШЕЙНМАНН

Орган Секции физико-технических и математических наук, Секции наук о Земле Президиума Академии наук СССР и Всесоюзного астрономо-геодезического общества

Адрес редакции: 117333
Москва, В-333, Ленинский пр., д. 61/1
тел. 135-64-81 135-63-08

Оформление В. Вандера
Художественный редактор
Л. Я. Шимкина
Корректоры: А. Н. Федосеева
Г. Н. Нелидова

При перепечатке ссылка на журнал «Земля и Вселенная» обязательна.

T-01444. Подписано в печать 26/1 1973 г.
Сдано в набор 29/X 1972 г. Формат бум.
 $84 \times 108/16$. Печ. л. 5,0 (8,4). Уч.-изд. л., 9,8.
Тираж 50.000 экз. Цена 40 коп. Заказ 1341.

2-я типография издательства «Наука».
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

* С. В. Козловская. Новое о Плутоне. «Земля и Вселенная», № 4, 1966 г.

Дракониды миновали Землю



★ — МЕСТА, ГДЕ ВЕЛИСЬ НАБЛЮДЕНИЯ ДРАКОНИД

● — МЕСТА, ГДЕ БЫЛО ОБЛАЧНО

В ночь с 8 на 9 октября 1972 года Земля пересекла орбиту кометы Джакобини — Циннера на 58 суток позже того момента, когда через эту точку прошла сама комета [«Земля и Вселенная», № 4, 1972 г., стр. 72]. Астрономы имели некоторые основания ожидать, что повторится метеорный дождь Драконид [с радиантом в созвездии Дракона], как это было в 1933 и 1946 годах.

Астрономическая секция Всесоюзного астрономо-геодезического общества организовала массовые наблюдения метеорного потока Драконид на всей территории Советского Союза. В наблюдениях участвовали многие отделения ВАГО, астрономические обсерватории, полярные станции Гидрометслужбы и любители астрономии. Получена многочисленная корреспонденция с описанием наблюдений. Из описаний видно, что

метеорный дождь миновал Землю, как и предсказывал казанский астроном Ю. В. Евдокимов, изучивший орбиту кометы и потока по многолетним материалам. Но провести наблюдения следовало, поскольку любой результат, как положительный, так и отрицательный, имеет равную научную ценность.

В европейской части Союза и в ГДР часовое число метеоров потока измерялось единицами [1—5], к востоку их число возрастало и на Дальнем Востоке достигло 30—40 метеоров в час. Это значит, что максимум потока пришелся на 15—16 часов московского времени, когда в европейской части страны был еще день.

Астрономическая секция ВАГО благодарит всех, приславших результаты своих наблюдений. Более подробный анализ наблюдений потока будет опубликован в одном из следующих номеров журнала.



aliqui: Nos alia: nec de astrorum
in deductione motus terrestribus assignabimus causam. Sequitur
creatum primum Saturnus: quo xxxix annis suū complet annu-
m post hunc superius duodecimale revolutione mobilis dens
Mars solo qui biennio circūit. Quartus in ordine aīa reme-
ho leonem optinet: in quo terrā cum orbe lunari tamq̃ quidam
continens duernus. Quinto loco Venus nono mense reuoluitur

